SONIA FERNÁNDEZ-VIDAL

DESAYUNO CON PARTÍCULAS

La ciencia como nunca antes se ha contado



con FRANCESC MIRALL

Tienes en las manos un ensayo sobre física cuántica, así es.

Un momento, por favor, ¡espera!

No dejes que eso te asuste y sueltes el libro de golpe.

¿Aceptarías una invitación a desayunar?

Si aceptas esta proposición y te aventuras a navegar entre estas páginas, descubrirás un universo tan maravilloso como desconcertante. La teoría cuántica es una de las más bellas y asombrosas de la ciencia. Las reglas que sigue son alocadas en comparación con nuestro día a día. Son anti-intuitivas. Al adentrarnos en el mundo cuántico se ponen en jaque nuestras creencias sobre la realidad, también de nuestra realidad cotidiana.

Sonia Fernández-Vidal, escritora y doctora en Física Cuántica, y Francesc Miralles, escritor y periodista, nos invitan a un divertido desayuno al que están invitados también asistirán Newton, Einstein, Heisenberg y otros famosos físicos de la historia. Entre magdalenas, donuts, café con leche y zumos de naranja, emprenderemos un fascinante y revelador viaje a los orígenes del universo. Aprenderemos para qué sirve un acelerador de partículas, qué es la partícula de Dios, cómo las cosas pueden estar en dos sitios a la vez… y trataremos de comprender los misterios de la existencia.

Lectulandia

Sonia Fernández-Vidal

con Francesc Miralles

Desayuno con partículas

La ciencia como nunca antes se ha contado

ePub r1.0

Titivillus 08.11.17

Sonia Fernández-Vidal & Francesc Miralles, 2013
Diseño de portada: Gemma Martínez
Ilustración de portada: Joan Borràs

Editor digital: Titivillus
ePub base r1.2

DESAYUNO CON PARTÍCULAS

La ciencia como nunca antes se ha contado

Sonia Fernández-Vidal
con Francesc Miralles

epublibre

Este libro se lo dedicamos a mi primo Alfonso Cabezas Fernández,
a quien los médicos diagnosticaron de pequeño que simplemente ¡era demasiado feliz!
Gracias por regalarnos, con tu presencia,
tanta felicidad y amor durante estos treinta años.
Seguirás presente en cada una de nuestras sonrisas.

Introducción

Si las puertas de la percepción se depurasen, todo aparecería ante nosotros como realmente es: infinito. Pues el ser humano se ha encerrado en sí mismo hasta ver todas las cosas a través de las estrechas rendijas de su caverna.

WILLIAM BLAKE,
Las bodas del cielo y el infierno

NO DEJES QUE ESTA CITA LITERARIA TE DESPISTE, tienes en las manos un ensayo sobre física cuántica, así es.

Un momento, por favor. ¡Espera!

No permitas que esto te asuste y cierres el libro de golpe.

¿Aceptarías nuestra invitación a un desayuno?

Si te atreves a navegar entre estas páginas, descubrirás un universo maravilloso y desconcertante.

Este peculiar ensayo —comprensible para cualquier persona, independientemente de sus estudios— es un trepidante viaje por tierras mágicas, que incluirá saltos vertiginosos en el tiempo y una exclusiva visita a centros de investigación como el CERN, la Organización Europea para la Investigación Nuclear. Asistirás también a nuestras reflexiones y conversaciones e incluso podrás sumergirte ¡en el mundo de los sueños!

El poema de Blake que abre esta invitación inspiró a Aldous Huxley —el autor de *Un mundo feliz*— para escribir su ensayo sobre la mescalina *Las puertas de la percepción*, que a su vez sirvió para bautizar la banda de Jim Morrison, The Doors.

Nuevamente… ¡que no cunda el pánico! Este libro no habla de drogas ni de experiencias psicodélicas, aunque el viaje a los confines de la cuántica tiene mucho de alucinante.

Este desayuno con partículas te dará energía para abrir las puertas de un mundo tan cotidiano como oculto y asombroso. ¿Aceptas el desafío?

Pasa, por favor… Y prepárate para lo inesperado.

0
¿Sabe física un león?

> Hay más cosas en el cielo y en la tierra, Horacio, de lo que puede soñar tu filosofía.
>
> SHAKESPEARE, *Hamlet*

CUANDO EMPECÉ LA CARRERA DE FÍSICA, una mañana escuché una reflexión brillante de un profesor sobre las dificultades que tenemos para entender la teoría cuántica.

Todos hemos disfrutado alguna vez de los fascinantes reportajes sobre el mundo animal. Una escena común en estos documentales es la de un león a la caza de una rápida gacela. Con el corazón en un puño, vemos cómo la gacela empieza a ganar distancia respecto a su depredador hasta que, finalmente, el león se detiene resignado y deja escapar a su presa.

Si nos detenemos a pensar sobre este hecho aparentemente simple, nos daremos cuenta de que, mientras el felino está en plena carrera, realiza unos cálculos nada triviales. Calcula su propia velocidad y la de la gacela, computa la resta vectorial entre ambas y, cuando se da cuenta de que el módulo —es decir, la distancia entre depredador y presa— aumenta, entonces se da por vencido y se detiene a reservar fuerzas para una caza más asequible.

No obstante, cualquier estudiante de física de bachillerato tendría dificultades para plasmar sobre el papel estos cálculos.

Y aquí surge la pregunta: ¿acaso los leones son expertos en física?

La respuesta es que sí. Los leones, igual que los demás animales —incluidos los humanos—, han desarrollado a lo largo de su evolución un modo intuitivo de utilizar la física en el día a día. Sin ella, tampoco nosotros sobreviviríamos en la jungla de asfalto.

Lo que denominamos física clásica surgió de nuestra observación cotidiana del mundo que nos rodea. Podíamos prever los ciclos lunares a partir de la observación del cielo, o definir la trayectoria de un tiro parabólico al analizar lo que ocurría tras lanzar flechas y piedras.

Sin embargo, cuando nos adentramos en el mundo de la física moderna, nos alejamos de la experiencia ordinaria del ser humano. Es lógico que nos cueste entender lo que sucede si nos movemos a velocidades cercanas a la de la luz, cuando lo más rápido que se pudo llegar a principios del siglo XX era a unos 100 kilómetros por hora.

¿Cómo vamos a comprender intuitivamente el principio de incertidumbre de un electrón, si nuestros ojos no han evolucionado para percibir esta diminuta partícula?

La mecánica cuántica trata de fenómenos que están fuera del rango ordinario de la experiencia humana, alejados de nuestra visión intuitiva de la realidad.

Hasta ahora nunca la hemos necesitado para sobrevivir.

¿Qué es la física cuántica?

Desde la noche de los tiempos, el ser humano ha sentido la necesidad de comprender el universo. La cúspide de esta búsqueda, en el campo de la física actual, se organiza en torno a dos grandes teorías que acabamos de mencionar: la cuántica y la relatividad.

Mientras la relatividad nos describe el mundo macroscópico y los movimientos de las galaxias, la teoría cuántica nos desvela la enigmática conducta de los átomos y sus diminutos constituyentes, los ladrillos que forman todo aquello que nos rodea… e incluso a nosotros mismos.

Cuando a inicios del siglo XX la comunidad científica empezó a adentrarse en el mundo de la cuántica, descubrió que estas partículas diminutas jugaban con unas reglas muy distintas a las que estamos acostumbrados a ver en nuestro día a día. A menudo hacen cosas que nos parecen imposibles: una partícula puede aparecer de la nada, estar en dos sitios al mismo tiempo, comportarse como onda o corpúsculo dependiendo de cómo se la *mire*, atravesar paredes, compartir *conexiones fantasmales* (en palabras del propio Einstein) a pesar de estar separadas, y muchas otras aparentes extravagancias.

Los físicos de hace un siglo tenían una visión ordenada del cosmos, como si fuera un preciso mecanismo de relojería. Por eso, al adentrarse en este enigmático mundo de partículas diminutas, entraron en crisis y se preguntaron: «¿Cómo puede el universo comportarse de un modo tan alocado y caótico?».

La nueva física les invitaba a desafiar sus creencias y a reformularse preguntas de gran belleza intelectual: ¿Existe una realidad única y objetiva? ¿Está la Luna ahí arriba cuando no la miramos? A Einstein le gustaba pensar que sí. ¿Seguimos un guión determinado en nuestra existencia o lo escribimos a medida que vamos viviendo?

Pese a que la física cuántica sigue inquietando a quien pretenda comprenderla racionalmente, su radio de acción supera el abstracto y alejado terreno de las ideas.

Podríamos caer en el error de pensar que esta ciencia es de dudosa credibilidad y está basada sólo en especulaciones. Pero lo cierto es que la teoría cuántica es la más precisa que jamás haya manejado la ciencia. No se conoce, hasta la fecha, ningún experimento que la desmienta ni predicción fallida alguna.

De hecho, esta ciencia ha pasado a formar parte de nuestro día a día. Más de un tercio de nuestra economía depende actualmente de la física cuántica y lo que conocemos de ella. Al calentar por la mañana el vaso de leche en el microondas,

cuando se nos abren automáticamente las puertas del supermercado, al utilizar la televisión, el ordenador, el teléfono móvil, los lectores láser, etcétera, usamos tecnología cuántica, aunque no seamos conscientes de ello.

Ante la teoría cuántica tenemos dos opciones:

1. «Calcula y calla» para obtener toda clase de avances tecnológicos.
2. Atreverse a interpretar lo que el universo y la materia nos está intentando decir.

Si optamos por la primera no viviremos la confusión inquietante en la que desemboca la física cuántica y sus paradojas. Pero si queremos ir más allá de las ecuaciones para sumergirnos en los provocadores misterios del mundo cuántico, cruzaremos las fronteras de la física para adentrarnos en el territorio de la filosofía, incluyendo la metafísica —etimológicamente: más allá de la física.

En este libro vamos a viajar juntos por un campo lleno de respuestas inquietantes que nos llevan a preguntas aún más inquietantes.

Sobre esto, cuenta una anécdota que un estudiante se atrevió a preguntar al premio Nobel Richard Feynman: «¿Qué es realmente la función de onda cuántica?». El profesor se limitó a responder: «Chis, antes cierra la puerta».

Entonces… ¿Qué no es física cuántica?

La atractiva interpretación del universo que nos brinda la física cuántica se utiliza a menudo para explicar todo tipo de fenómenos paranormales y pseudocientíficos, algo muy común en los últimos años.

En algunos casos puede no haber afán de engañar, pero sí hay una confusión de los límites en los que la ciencia tiene validez. A veces se utiliza la etiqueta «cuántica» para terapias alternativas y técnicas energéticas que pueden o no funcionar —no entraremos a juzgarlo—, pero que son totalmente ajenas a lo que se estudia en una facultad de física, y nada tienen que ver con la teoría cuántica. En otros casos, hay una deliberada mala intención al utilizar la credibilidad de la ciencia para lucrarse a través de cursos engañosos que fomentan la irracionalidad y la superstición, dos fantasmas contra los que la ciencia ha estado luchando desde sus inicios.

Eso no significa que debamos otorgar la verdad absoluta a los científicos, como sucedió en la Edad Media con los sacerdotes. Al igual que la mayoría censura el fanatismo religioso, el cientifismo a ultranza pasa por alto que la física sólo puede describir una parte muy pequeña de la realidad. Colocar al científico en el altar del conocimiento absoluto es invitarle a jugar el rol de los nuevos sacerdotes, algo que definitivamente no es su labor. Encontrar el equilibrio entre el escepticismo que nos permite discernir y la flexibilidad que nos invita a abrir nuevas puertas es una tarea nada sencilla, pero es un esfuerzo que, sin duda, merece la pena.

EL HOYO Y EL AGUA

Cuentan que a san Agustín le gustaba pasear de buena mañana por la playa y sumirse en sus reflexiones. En uno de esos paseos, el místico le daba vueltas al misterio de la Trinidad. Inmerso en sus cavilaciones, recorría la orilla una vez tras otra en su intento fallido de comprender racionalmente cómo tres personas pueden formar un único dios. Una paradoja que no conseguía resolver.

Perdido en sus pensamientos, observó distraídamente a un chiquillo que jugaba en la arena. El niño excavó un pequeño agujero. Acto seguido, corrió hacia el mar con una concha marina, recogió con ella toda el agua que pudo y volvió rápidamente para verterla en el agujero. Repitió aquella operación varias veces, hasta que san Agustín, acercándose a él, le preguntó:

—¿Qué haces, niño?

—Quiero meter el océano en mi hoyo —le respondió sonriente el pequeño.

San Agustín aleccionó al chico con un tono paternal:

—Lo que pretendes hacer es imposible.

—Pues es exactamente lo que estás intentando tú —le dijo para su sorpresa el niño—: meter en tu mente finita los misterios de Dios.

Esta fábula describe muy bien la tendencia humana de relacionar la física con la mística, la nueva ciencia con las antiguas enseñanzas orientales. Sin embargo, afirmar que la física cuántica demuestra la existencia de Dios o los preceptos de los maestros orientales es como intentar meter el océano en un hoyo de la playa.

La física cuántica sólo abarca un trozo minúsculo de la *realidad* que conocemos. Por eso, fundamentar el misticismo en una ciencia que aún está en pañales no es sólo una equivocación, sino una tergiversación tanto de la cuántica como de la espiritualidad.

No es tarea de la física meterse en estos berenjenales.

En palabras del astrofísico británico A. S. Eddington: «Hay que desconfiar de cualquier intento de reducir a Dios a un conjunto de ecuaciones diferenciales. Este fiasco debe ser evitado a cualquier precio».

Espiritualidad y ciencia no son incompatibles, es más, ambas pueden ser aproximaciones complementarias para comprender nuestro cosmos. Pero afirmar que una se deriva de la otra es, a mi juicio, un sinsentido.

Algunos de los padres de la física cuántica, como Einstein, Eddington, Schrödinger o Bohr, sin embargo, fueron personas con grandes inquietudes espirituales. ¿Por qué motivo? Quizá la imposibilidad de hallar respuesta a todo lo que se preguntaban fue lo que empujó a estos grandes científicos a ir más allá de la física.

LAS SOMBRAS DE LA CAVERNA

En un mito contenido en su diálogo *La República*, Platón describe a unos hombres que desde niños han sido encadenados en el fondo de una cueva, de espaldas a la entrada. Forzados a estar de cara a la pared, lo único que pueden ver son las sombras de animales y objetos que pasan delante de una gran hoguera.

Para ellos, aquellas sombras son los objetos reales, cuando de hecho sólo representan un reflejo limitado de ellos.

Del mismo modo, la luz de la física no explica la realidad última de nuestro mundo, sino que sólo nos ofrece algunos símbolos y sombras. La gran diferencia entre la física mecanicista y la moderna es que antes creíamos que la ciencia explicaba la realidad última y objetiva del mundo físico. Con la cuántica, nos hemos visto forzados a reconocer que nos movemos en un mundo de sombras.

De todos modos, el vasto océano por conocer no debe desanimar a los navegantes intrépidos. Aunque sólo podamos entender ese hoyo excavado en la arena, es lícito y saludable interrogarnos sobre la inmensidad.

Este libro es una invitación a navegar por los confines de la realidad y del conocimiento humano para ampliar nuestros propios horizontes mentales.

Como decía Richard Feynman, «No tomen todo esto de manera solemne… ¡Relájense y disfruten! Simplemente, vamos a hablar sobre el comportamiento de la naturaleza (…) Si se preguntan: “¿Cómo puede ser así?”, entrarán en un callejón sin salida del que nadie ha logrado escapar hasta ahora. Nadie sabe cómo la naturaleza puede comportarse de este modo… ¡NADIE “entiende” la mecánica cuántica!».

1
Verdades provisionales

Me interesa el futuro porque es el sitio donde voy a pasar el resto de mi vida

WOODY ALLEN

De: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

Querida Sonia:

Muchas gracias por tu estupenda charla el pasado jueves. Creo que por primera vez entendí un poco cómo funciona la física cuántica.

Tal como te comenté al final de la presentación, me gustaría hacer un viaje por este fascinante mundo. Pero antes de sumergirme en los misterios de la cuántica, necesitaría comprender cómo hemos llegado hasta aquí.

Por lo que entendí de tu explicación, la física moderna nos plantea una visión distinta del mundo. Pero ¿cuál era la visión de éste que tenían los que llamas físicos clásicos? Por clásico, deberíamos remontarnos, como mínimo, a la antigua Grecia, ¿no es así?

El problema es: ¿cómo entender la evolución de la ciencia desde unos filósofos de los que apenas se conserva nada? ¿Qué debían de pensar cuando levantaban la mirada al firmamento?

Un beso,

Francesc

De: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

Francesc:

Acabo de leer tu correo electrónico y tengo que darte toda la razón. El mejor modo para entender la nueva visión cosmológica de la física cuántica es hacer un viaje en el tiempo.

¿Te vendría bien pasarte mañana a las 21 h por mi casa para empezar este «viaje»? Creo que ya tienes mi dirección.

Siento no darte más detalles, pero no puedo arriesgarme a desvelar cierta información por e-mail…

Mañana comprenderás por qué. No hace falta que te diga que se trata de alto secreto. Por favor, no digas nada a nadie.

Un beso,

S.

REGRESO AL LUGAR DONDE SE ESCRIBIÓ EL FUTURO

Faltan diez minutos para las nueve cuando suena el timbre del portal. Sonrío al contestar por el interfono. Sabía que mi críptico correo despertaría la curiosidad de Francesc.

—Sé que todavía no es la hora… —dice mi buen amigo como excusa—. Pero no podía esperar más. ¡Me dejaste en ascuas!

—No te preocupes. Ya lo tengo todo listo. Ponte esta ropa que te he preparado.

Francesc me mira interrogativamente mientras se cubre con la túnica que le he lanzado; yo hago lo mismo.

—¿Vamos a una fiesta de disfraces? —pregunta confuso al ver que ambos vamos vestidos con túnicas propias de la antigua Grecia.

—No exactamente… Subamos al estudio.

Después de ascender por la estrecha escalera de caracol, le muestro «La Máquina» a Francesc, que verbaliza sus dudas con asombro:

—¿Qué es este armario con cables y luces?

—Cuando te escribí en mi correo que teníamos que hacer un viaje en el tiempo, lo decía literalmente.

La cara de estupor de Francesc casi consigue que se me escape una risotada.

—Lo cierto —prosigo recobrando la seriedad— es que ésta debería ser la última opción de todas… Es peligroso utilizarla, cualquier error por nuestra parte podría cambiar el curso de la historia. Pero en esta ocasión creo que merece la pena, seremos prudentes.

—Sonia, no te sigo.

—Esto que tienes delante es una máquina del tiempo. He programado tres momentos de la historia que creo que es importante visitar. ¡Espero no haberme equivocado y que aparezcamos en el Jurásico! No sería nada atómico ser perseguidos por una manada de velociraptores.

Antes de que le entren más dudas, empujo a Francesc conmigo dentro de la máquina y cierro las puertas.

VIAJE A LA ANTIGUA ATENAS

Primer trayecto completado con éxito. Hemos «aterrizado» en la antigua Grecia, año 357 a. C.

—Según mis cálculos, estamos a escasos metros de la Academia —le digo a Francesc.

—¿Desde cuándo eres barbuda? —me contesta tomando una distancia prudencial.

No se ha dado cuenta de que, tras recogerme el pelo, me he puesto una barba muy resultona para el lugar adonde vamos.

—Era imposible presentarse en la Academia y participar en los diálogos siendo mujer. Desgraciadamente, por aquel entonces no estaba muy bien visto que una dama se implicara en las actividades culturales de la ciudad. Ahora ponte este aparato detrás de la oreja —le pido—; es un artilugio que traduce tanto lo que escuchas como tus propias palabras. Así podrás entenderte en griego antiguo.

Antes de que mi compañero pueda replicar, se acercan a nosotros un par de muchachos que están lanzando piedras a un perro callejero.

—Jóvenes —una voz a nuestras espaldas se dirige a los chicos—, dejen en paz a ese perro, pues reconozco en él a un viejo amigo que murió hace tiempo.

Los muchachos, al ver al anciano que acaba de hablarles, le ofrecen un saludo de respeto con la cabeza y se marchan a toda prisa.

—A Sócrates, mi maestro, le gustaba bromear sobre este tema —nos dice el viejo mientras se acerca a nosotros—. Creía que al morir podemos volver a la Tierra, ¡incluso tomando la forma de un animal!

Ambos le saludamos imitando el mismo gesto honorífico de los jóvenes.

—Sois forasteros, ¿verdad?

—Sí, señor —le contesto—; nos dirigíamos a la Academia. Nos gustaría conocer a Aristóteles.

—Dado que justamente voy hacia allí, podéis acompañarme si no os molesta mi lento caminar.

El edificio de la Academia es impresionante. En el gran pórtico de mármol se lee el lema: NO ENTRES AQUÍ SI NO ERES GEÓMETRA.

No dejaremos que eso nos frene.

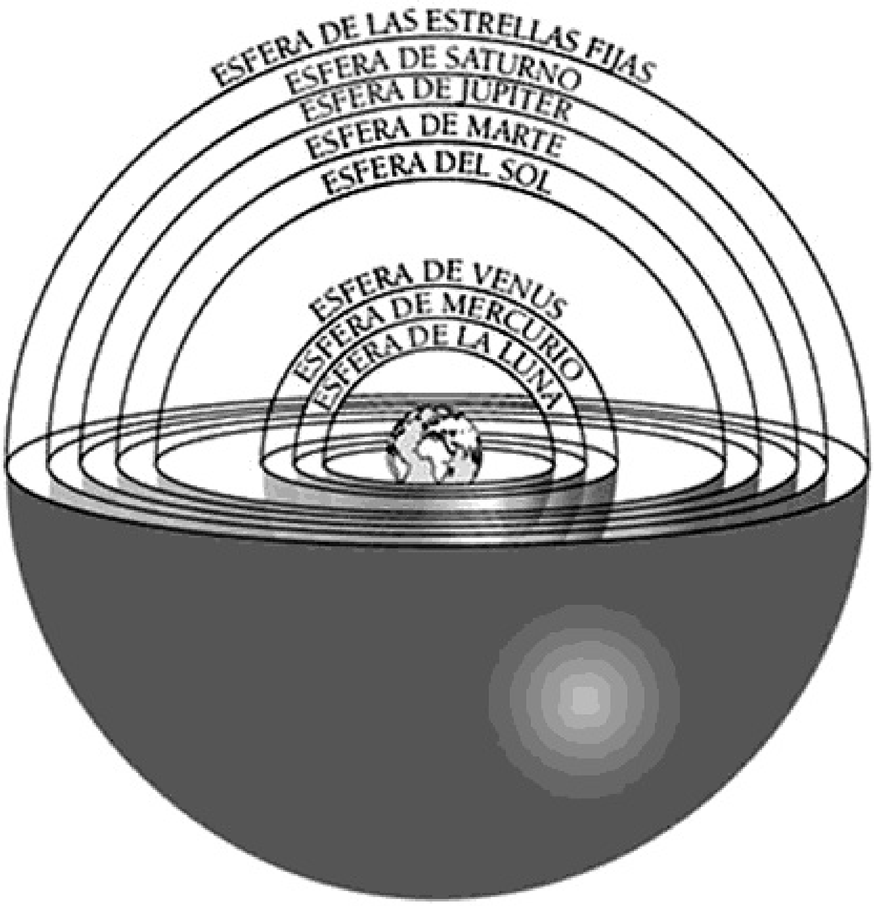
Cruzamos una gran arcada bajo la que se arremolinan jóvenes y viejos con sus túnicas. Un adolescente levanta una esfera celeste moteada con brillantes para representar las estrellas. A su lado, un hombre grueso despliega un pergamino lleno de cálculos y añade con su plumilla algunas correcciones.

Nos mezclamos entre la multitud, conscientes del privilegio de adentrarnos en la

cuna del conocimiento antiguo, la base a partir de la cual se desarrollará la civilización occidental.

Después de atravesar el espacioso salón principal, el anciano nos lleva hasta un recinto con las gradas repletas de curiosos. Nos sentamos en una de las últimas filas. Emocionados, nos damos cuenta de que aquella es el aula donde Aristóteles está impartiendo uno de sus discursos:

—*Es necesario que el cielo tenga forma esférica, pues esta figura es la más adecuada a la entidad celeste y la primera por naturaleza. A la recta siempre es posible añadirle algo, pero nunca a la línea del círculo, es evidente que la línea que delimita el círculo es perfecta. Así pues, lo que gira con movimiento circular será esférico. Y también lo inmediatamente contiguo a aquello: pues contiguo a lo esférico es esférico. E igualmente los cuerpos situados hacia el centro de éstos: pues los cuerpos envueltos por lo esférico y en contacto con ello han de ser por fuerza totalmente esféricos; y los situados bajo la esfera de los planetas están en contacto con la esfera de encima. De modo que cada uno de los orbes será esférico: pues todos los cuerpos están en contacto y son contiguos con las esferas…*



—Creo que hemos llegado a mitad de la lección —dice Francesc en un resoplido —. Me cuesta entender a qué se refiere.

—Aristóteles está compartiendo su teoría astronómica. Creo haberla leído en un

capítulo de su obra *La esfericidad del universo*, si no recuerdo mal. Según su teoría, el cosmos se dividía en dos esferas o regiones opuestas: una perfecta, la correspondiente a las esferas celestes, y otra imperfecta, que concierne a la Tierra y todo lo que ocurre en ella. Ambas regiones están separadas por la esfera lunar. Por lo tanto, el cosmos quedaría dividido entre el mundo supralunar y el sublunar. Según su visión, la Tierra, imperfecta pero situada en el centro del universo, está compuesta por cuatro elementos fundamentales: tierra, agua, aire y fuego. Todos los movimientos que se producen en esta esfera imperfecta son rectilíneos y esporádicos. Sin embargo, las esferas celestes están formadas por un quinto elemento, el éter, también llamado quintaesencia. En las esferas celestes los movimientos son perfectos: circulares, continuos y en esferas concéntricas.

Tras esta aclaración prestamos atención, de nuevo, al discurso de Aristóteles:

—Hay tres clases de seres: lo que es movido, lo que mueve y el término medio entre lo que es movido y lo que mueve, un ser que mueve sin ser movido, ser eterno, esencia pura…

—Habla de Dios y del origen del movimiento de las cosas —me susurra Francesc —. Creo que se llama teoría del primer motor; me la tuve que empollar para un examen de filosofía. Viene a decir algo así: un objeto se mueve porque lo impulsa otro, el cual a su vez ha sido impulsado por un objeto anterior. Pero si tiramos hacia atrás… la pregunta es: ¿dónde empezó el movimiento?

—Responder a eso es tan difícil como decir qué había antes del Big Bang.

—Aristóteles pone en ese origen a Dios, el primer motor que transmite el movimiento a todas las cosas y lo hace a través de la atracción, del mismo modo que «el amado mueve al amante», creo recordar que decía.

Un joven discípulo, sentado en la grada de delante, se gira con el ceño fruncido. Es una clara invitación a que nos callemos y escuchemos al maestro, que en aquel momento cede el protagonismo al anciano que nos había acompañado.

Sorprendidos, vemos cómo aquel hombre de barba blanca y nariz prominente empieza a decir:

—Imaginad una especie de cavernosa vivienda subterránea provista de una larga entrada…

Un espectador murmura:

—¡Ya está otra vez Platón con su caverna!

Al escuchar aquel comentario, llamo la atención de Francesc con un codazo y le digo emocionada:

—El anciano con el que hemos venido era Platón.

Mi compañero me mira con cara de espanto:

—Sonia, ¡se te está cayendo la barba!

Varios hombres a nuestro alrededor empiezan a mirar con sospecha hacia nosotros.

—Salgamos pitando de aquí antes de que nos metamos en problemas… —digo

atropelladamente—. Es hora de volver a la máquina.

En cuanto se abre la puerta de la máquina y aparecemos, sanos y salvos, en el estudio de casa, respiramos tranquilos.

—¡No puedo creer lo que acabamos de vivir! —exclama con entusiasmo Francesc—. Hemos ido a la Academia con Platón y asistido a una clase de Aristóteles…

—Voy a preparar un té verde. Nos ayudará a concentrarnos. Tenemos sólo unos minutos antes del siguiente viaje.

—¿El siguiente? —pregunta mi amigo mientras pongo el agua a hervir.

—Por supuesto —digo con un toque de orgullo—. No pensarás que el viaje termina aquí, ¿verdad? Gracias a este primer salto en el tiempo ya sabemos cuál era la cosmología de la antigua Grecia. Una visión que, a su manera, fue adaptada por la Iglesia católica hasta más allá del siglo XVII. Dos mundos que cumplían leyes muy distintas: el mundo terrestre e «imperfecto», donde habitaban los hombres con todas sus debilidades y pasiones, y el de las esferas celestes, que se creía «armonioso y perfecto», habitado por ángeles y demonios.

—Me sitúo —dice Francesc mientras da un sorbo a la taza de té—. Lo cierto es que parece un poco extraño que personas tan sabias tuviesen una visión del mundo tan fantasiosa.

—No lo juzgues tan a la ligera. Quién sabe si nuestras «verdades provisionales» no estarán también llegando a su fin… —le contesto mientras preparo nuestro próximo disfraz—. Pero ahora sigamos con el curso de la historia. En nuestro próximo salto temporal nos remontaremos cinco siglos atrás, cuando Galileo y Kepler iniciaron una revolución que desbancó la ciencia antigua para dar lugar a la Ilustración.

Apuro a mi compañero de aventuras para que se vista con las ropas que le he dado.

—Vamos a conocer a uno de estos rebeldes que asumieron la peligrosa tarea de unir el cielo y la tierra.

Empujo de nuevo a Francesc dentro de la máquina.

El astrónomo errante

Disfrazados con trajes de sirvientes, aparecemos con éxito en los fríos pasillos de un castillo del siglo XVII.

—Bien, y ahora ¿adónde vamos? —pregunta Francesc.

—Si mis cálculos son correctos, en cualquier momento nos podemos encontrar con Johannes Kepler y sus ayudantes.

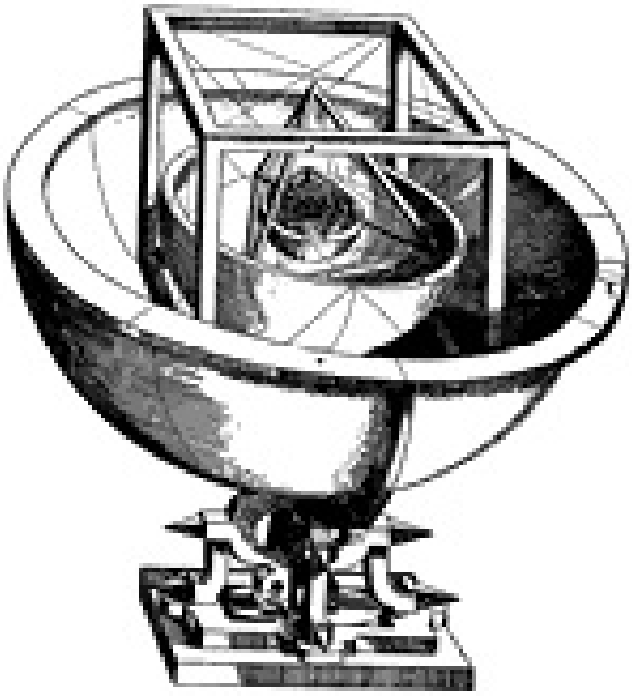
Un ruido metálico resuena por el corredor. A lo lejos distingo la silueta de un par

de soldados que se acercan a nosotros.

Antes de que nos descubran como intrusos, apresuro a Francesc para correr en dirección opuesta. En cuanto nos encontramos la primera puerta —afortunadamente no está cerrada— nos escondemos en un rincón de la estancia para darles esquinazo.

Volvemos a respirar tan pronto como oímos pasar de largo a los soldados. Un poco más tranquilos, nos damos cuenta de que hemos entrado en lo que parece un estudio. En el centro de la habitación hay una gran mesa llena de libros y pergaminos.

Francesc curiosea los papeles que rebosan en el estudio, mientras yo me siento atraída por un artilugio abandonado en un lateral de la estancia. Lo reconozco enseguida.



Sistema Solar de Kepler, reproducido en su obra
Mysterium Cosmographicum (1596)

—¡Ven a ver esto! ¿Lo reconoces?

—No exactamente… ¿Qué es?

—Es el modelo cosmológico que Kepler desarrolló en su obra *Mysterium Cosmographicum* (*El misterio Cósmico*) basándose en los sólidos regulares de Pitágoras. Nuestro protagonista creía en el heliocentrismo de Copérnico, es decir, que el Sol estaba en el centro y no la Tierra. Pese a ser una idea peligrosa por la que Galileo sería condenado, Kepler la abrazó con fervor, convencido de que reforzaba su fe.

—¿Qué tiene que ver el Sol con la fe?

—Para Kepler, igual que para los antiguos egipcios, el Sol era la perfecta imagen de Dios y debía ocupar en el cosmos un lugar central, mientras el resto de los planetas serían los que daban vueltas, en círculos perfectos, a su alrededor. Sin embargo, los datos que había recopilado de Copérnico no encajaban con su bella teoría. Por eso vino aquí, a Praga, para acceder a las mediciones del mejor astrónomo de la época,

Tycho Brahe. Estaba convencido de que sus datos serían la llave que le permitiría abrir las puertas que encerraban los misterios de los cielos.

—Recuerdo haber leído algo acerca de Brahe. Creo que este noble excéntrico era famoso por haber perdido parte de su nariz en un duelo y verse forzado a llevar una prótesis de oro.

—Ese mismo. Pero Tycho no le recibió con los brazos abiertos. Al parecer recelaba del joven Kepler y, ante su corte de aduladores, se burlaba con frecuencia de aquel campesino que pretendía resolver el misterio del cosmos. Sólo muy de vez en cuando, después de alguno de los banquetes que acompañaba con abundante vino, iba soltando información con cuentagotas al joven teórico, que se apresuraba a anotarla febrilmente. Pero todo cambió al fallecer Tycho. En su lecho de muerte, como si se tratase de un mantra, el astrónomo no cesaba de repetir las siguientes palabras: «*Non frustra vixisse vidcor*». Es decir: «que no haya vivido en vano». Brahe legó el trabajo de su vida, sus valiosísimas observaciones de los planetas, a Kepler.

La puerta de la habitación se abre de sopetón. El miedo a ser pillados me ha paralizado.

—Ponte a limpiar —me susurra Francesc dándome un codazo—. ¡Disimula!

Me doy cuenta de que las tres personas que han entrado están tan enfrascadas en sus cábalas que ni siquiera se han percatado de que no somos sirvientes de la casa.

—Lo hemos conseguido —le digo disimuladamente—, el de la barba es Kepler. Escucha con atención.

—No puede ser —despotrica Kepler—, no logro comprender por qué el mayor de los geómetras ha escogido una forma tan imperfecta para el mundo celeste.

Sin que se den cuenta, le puntualizo a Francesc en un susurro:

—Kepler se refería a Dios como el Divino Geómetra…

—¿No se tratará de un error en las mediciones de Brahe? —intenta complacerle uno de sus colaboradores.

—Tycho podía ser excéntrico, pero la perfección de sus observaciones era incuestionable. Sabía muy bien que algo no encajaba, por eso insistió en estudiar la trayectoria de Marte[1]. Ahora puedes descansar tranquilo, Tycho, maestro, *non vixit in vanum*. No has vivido en vano.

Kepler se derrumba en el asiento de su escritorio y murmura:

—La verdadera naturaleza, que había rechazado y echado de casa, volvió sigilosamente por la puerta trasera y se presentó disfrazada para que yo la aceptase. Ah, ¡qué pájaro más necio he sido!

Acto seguido, se levanta de un salto y exclama:

—Ahora no puedo negar la evidencia. La trayectoria de Marte es esta forma alargada e imperfecta parecida a un óvalo: la elipse. Después de tanto tiempo… ¡debo conformarme con este carro de estiércol!

Dicho esto, Kepler sale de la habitación dando un portazo, seguido por sus alumnos.

Volvemos a quedarnos a solas.

—Vaya, no parece precisamente contento —dice Francesc mientras recoge los papeles que Kepler ha tirado al levantarse de golpe.

—¡Claro que no lo está! Tras muchos años de estudio, tuvo que claudicar y aceptar con valentía los hechos: su devoción por el círculo perfecto había sido una ilusión. Finalmente abandonó la idea de las órbitas circulares y, por ende, su fe en el Divino Geómetra. Este golpe en sus creencias permitió a Kepler desarrollar sus tres famosas leyes[2].

—Ven, acércate a ver esto —me interrumpe Francesc señalando unos papeles—. Si no me equivoco, ¡es una carta de Galileo!

—¡Así es! Ambos fueron contemporáneos y llegaron a cartearse.

—Por lo que entiendo, parece que Galileo le envía la información para fabricar un telescopio…

—Sí, en 1609 Galileo consigue por primera vez un telescopio. Enseguida quedó fascinado por ese aparato. «Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo», se decía en la antigüedad. Para Galileo, el punto de apoyo fue el telescopio, ya que puso en movimiento algo que hasta entonces había sido inmóvil y central: la Tierra.

—Entonces, ¿los telescopios ya existían antes de Galileo?

—Sí, pero los usaban básicamente como instrumento para la navegación. Fue Galileo quien tuvo la astucia para modificarlo y el valor de enfocarlo hacia las inmensidades del cielo. Con ello desmontó todavía más el mito de las esferas celestes. Por aquel entonces se creía que la Luna era una bola perfecta.

—Como un queso de Edam —añade con guasa Francesc.

—Pero al enfocar con su invento mejorado nuestro satélite, descubrió rugosidades, valles y montes que contradecían la concepción aristotélica de que los cuerpos celestes eran esferas perfectas.

—Vosotros dos, ¡holgazanes! —Un soldado nos llama la atención desde la puerta.

Mi compañero palidece y yo no debo de estar mucho más tranquila, pues creo que los latidos de mi corazón se escuchan desde el siglo XXI. Nos han pillado con los papeles de Galileo en las manos.

—Puesto que sois los nuevos, os toca ir a limpiar el estiércol de los establos —ordena el soldado sin entender lo que estamos haciendo.

Tomo la mano de Francesc, que sigue paralizado, y le empujo fuera del estudio para salir pitando y dejar atrás la amenaza de las cuadras.

—La próxima vez que vengamos aquí, propongo que nos disfracemos de reyes, Sonia.

De nuevo en el estudio de casa, nos quitamos las aparatosas ropas del siglo XVII y Francesc se ofrece a preparar otro té.

—Genial, nos vendrá bien —acepto mientras me siento a la mesa—. Así

tendremos tiempo para hacer un breve repaso de lo vivido. Hemos estado en el período de tiempo en que «nacía» la física en el sentido moderno del término.

—¿A qué te refieres?

—Para Galileo era esencial demostrar las teorías científicas mediante experimentos y cálculos precisos. Como él mismo diría en una de sus obras, «la Naturaleza está descrita en lenguaje matemático». Desde entonces, la puesta a prueba de las predicciones teóricas ha sido un signo de buena ciencia: el método científico.

—Vaya, pensaba que la ciencia siempre había seguido esa metodología.

—¡Qué va! Este modo de pensar desafiaba las ideas de la filosofía aristotélica, que perduraban en la Italia renacentista. Los científicos de la «Edad de Oro» podían discutir teorías confrontadas hasta el agotamiento: nunca llegaban a un consenso. Aceptaban todo aquello que parecía intuitivo y racional. Por ejemplo, era obvio que la Tierra estaba quieta porque nadie podía sentir el movimiento bajo sus pies.

—Comprendo su modo de pensar, tiene lógica.

—De hecho, seguimos diciendo que el Sol sale por el este y se pone por el oeste. Nuestro lenguaje todavía pretende que la Tierra no gira. Y eso que Galileo se metió en un buen lío por su «y sin embargo se mueve». También Kepler, como hemos visto hace un rato, tuvo que claudicar de su amado círculo para aceptar lo que decían los datos experimentales: que las órbitas son elípticas.

—Ya lo decía Pope: «Errar es humano, rectificar es de sabios y perdonar es divino» —añade Francesc.

—Al parecer, la tumba de Kepler fue destruida durante la guerra de los Treinta Años. En ella se podía leer el epitafio que él mismo escribió: «Medí los cielos y ahora mido las sombras. Mi mente tenía por límite los cielos, mi cuerpo descansa encerrado en la Tierra». Si se reconstruyese su tumba podría cambiarse esa frase, ya que coincido con las palabras que Carl Sagan le dedicó en honor a su coraje científico: «Prefirió la dura verdad a sus ilusiones más queridas».

Me levanto para preparar nuestro próximo disfraz.

—¿Cuál es nuestra siguiente parada? —pregunta Francesc mientras recoge las tazas de la mesa.

—Vamos a cerrar esta revolución con una visita a un científico que nacería el año de la muerte de Galileo: Isaac Newton. Como hemos visto, Kepler ya había descubierto que los planetas describen órbitas elípticas en vez de círculos. Su coetáneo Galileo, al observar las irregularidades de la Luna, ayudó a desmontar el mito de que los cuerpos celestes eran esferas perfectas.

—¿Qué más quedaba por decir? —pregunta Francesc.

—Algo no menos transgresor. Newton, con su teoría de la gravedad, demuestra que la misma fuerza que hace caer una manzana del árbol es la que mueve las estrellas y hace orbitar la Luna alrededor de la Tierra. Parece una obviedad a día de hoy, pero supuso un tsunami para las creencias de su época. Para asombro de sus colegas y alumnos de Cambridge, demostró que las leyes que rigen los movimientos

«imperfectos» de nuestro mundo no son distintas de las que gobiernan los divinos cuerpos celestes.

—Así se logró unificar, por fin, Cielo y Tierra.

—Exacto. Dios dejaba de ser necesario en un universo donde la ciencia y la razón ocupaban ahora el lugar de lo divino.

EL CIENTÍFICO MÁS BRILLANTE DE LA HISTORIA

> La Naturaleza y sus leyes permanecían en la oscuridad.
> Dios dijo: «¡Hágase Newton!» Y la luz se hizo.
>
> ALEXANDER POPE

Sin pensarlo dos veces, nos metemos en la máquina del tiempo rumbo al siglo XVIII. En un abrir y cerrar de ojos, aparecemos en los jardines de una gran mansión inglesa.

Todavía queda más de una hora para el crepúsculo.

Se nos acerca un ama de llaves con cara de mal humor y nos entrega una bandeja con pastas y humeante té negro.

—Vosotros dos, llevadle esto al señor. Los cocineros han echado a perder la cena y tengo que ir a encargarme del estropicio.

Asentimos obedientemente.

—¿Por qué siempre nos disfrazas de sirvientes, Sonia?

—Es el mejor modo de pasar inadvertidos. Cualquier error por nuestra parte afectaría al curso de la historia, ya te lo dije…

Sentados a una mesa del jardín, bajo la sombra de unos frondosos árboles, distinguimos a Isaac Newton y a otro caballero. Están enfrascados en una animada conversación.

—Si no he hecho mal mis cálculos —le susurro a Francesc—, nos encontramos en el 15 de abril de 1726. El tipo que está con Newton es William Stukeley, su biógrafo.

—Yo tenía veintitrés años y estaba estudiando en Cambridge cuando se desató una gran plaga que obligó a cerrar el campus —explica Newton—. No tuve otra opción que recluirme en mi ciudad natal, Woolsthorpe.

—Sin embargo —le responde su entrevistador—, y por lo que tengo entendido, no fue precisamente tiempo perdido para usted.

—Durante aquel intervalo de tiempo —le explico a mi amigo—, con su cabeza como única herramienta, Newton desarrolló el cálculo diferencial e integral. Asimismo, llegó a entender que la luz blanca está compuesta por diferentes colores. También fue entonces cuando estableció las bases de la teoría de la gravitación universal.

—¡A eso se le llama sacar partido de las horas! Tengo entendido que también fue el inventor de la gatera.

—Buena puntualización, ¡eso se me había escapado! En cualquier caso, ese período se ha equiparado en la historia de la ciencia con 1905, el llamado «año milagroso» de Einstein.

—¡Ay! —grita Francesc de repente, interrumpiendo la conversación entre ambos hombres.

Una manzana ha caído directamente sobre la cabeza de Francesc.

Stukeley le pregunta educadamente a mi amigo si se encuentra bien mientras, para nuestra sorpresa, Newton cuenta la siguiente anécdota:

—Precisamente la caída de una manzana, como la que ha ido a parar a la cabeza de este buen hombre, fue lo que abrió mi mente a la idea de la gravitación. ¿Por qué esta manzana cae hacia el suelo? ¿Por qué no se desplaza hacia un lado o hacia arriba y va siempre hacia el centro de la Tierra?

Stukeley toma apuntes en su libreta para no perderse ni un detalle de su explicación.

—Si se necesita una fuerza para una aceleración horizontal —prosigue Newton —, por ejemplo, al lanzar una flecha, también tiene que existir una fuerza para la aceleración vertical de la manzana. Y si esta fuerza empuja la manzana hacia el suelo, ¿por qué no afecta también a la Luna? Y si es así, ¿por qué no nos cae la Luna encima?

—Así fue como concibió sus dos grandes ideas —le alaba Stukeley—, la ley del movimiento y la fuerza de la gravedad.

—Lo publiqué en mi obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, tras la insistencia de mi buen amigo Halley —reconoce Newton satisfecho—. La naturaleza no actúa de cualquier modo, sino que es tan predecible como un mecanismo de relojería.

—Halley ha predicho incluso el retorno de un cometa —añade su entrevistador.

El ama de llaves aparece en ese momento para anunciar que la cena está lista. Mientras los dos caballeros se levantan y toman el sendero que lleva a la casa, oímos las últimas palabras de Newton:

—No sé qué opina el mundo de mí, pero yo me siento como un niño que juega a la orilla del mar y se divierte descubriendo de vez en cuando un guijarro más liso o una concha más bella de lo corriente, mientras el gran océano de la verdad se extiende ante mí, todo él por descubrir.

Un universo mecánico

Salimos de la máquina del tiempo con las últimas palabras de Newton resonando en nuestras cabezas.

—Éste era el último viaje que tenía programado —le digo satisfecha a mi compañero de aventuras.

—¡Como si fuera poco! Hemos sido testigos de momentos cruciales de la historia y, además, ahora tengo claro cómo ha ido cambiando nuestra concepción del cosmos, desde Platón hasta Newton.

—En la visión mecanicista del mundo que surgiría después de esta revolución, la razón acabó ganando el pulso a la religión.

—¿Es eso lo que se conoce como física clásica?

—Exacto, este término lo utilizamos para referirnos a los físicos desde Newton hasta finales del siglo XIX. Para ellos, el universo era lo más parecido a un gran mecanismo de relojería. Todo aquello que no tuviese que ver con la «Gran Máquina» quedaba fuera del campo de la física. Las cuestiones como el libre albedrío o la consciencia quedaban para la filosofía.

Antes de seguir fijo mi mirada en un viejo mapa que adorna mi estudio.

—¿Conoces la anécdota de Laplace?

—¿Quién era?

—Un físico y matemático francés muy importante del siglo XVIII. Dicen que Napoleón, al conocer su obra *Exposition du système du monde*, le dijo: «Me cuentan que ha escrito usted este gran libro sobre el sistema del universo sin haber mencionado ni una sola vez a su creador», a lo que Laplace contestó: «*Sire*, nunca he necesitado esa hipótesis». Cuando Napoleón le narró la conversación al matemático Lagrange, éste le argumentó: «¡Ah! Dios es una bella hipótesis que explica muchas cosas». Tras reproducir Napoleón estas palabras a Laplace, éste ingeniosamente replicó: «Aunque esa hipótesis pueda explicar todo, no permite predecir nada».

—En algún sitio he leído que se establecieron cuatro postulados de las ciencias clásicas —añade mi amigo.

—Quizá fueran más, pero vamos con ellos. El primero es que el universo se comporta como una gran máquina en un espacio y tiempo absolutos. Todos los fenómenos físicos podían reducirse y comprenderse como movimientos más simples, producidos por los pequeños engranajes de la máquina, aunque fuesen tan pequeños que no se pudiesen ver.

—Entonces, en ese universo el nuevo oficio de Dios era el de Maestro Relojero.

—Sí, pero un relojero retirado, pues una vez estaba todo en marcha, ya no tenía función alguna.

—¡Jubilaron a Dios! Bueno, sigue con la lista.

—Segundo: el universo es determinista. Si conocemos el estado de un objeto en movimiento en un instante dado, podemos predecir su estado futuro y pasado. Todo tiene una causa y un efecto, eso nadie lo cuestionaba.

—Yo tampoco lo cuestiono.

—Tercer postulado: la energía se explica mediante dos modelos físicos distintos: o partículas (como diminutas bolas de billar) u ondas (como las olas de la playa).

Ambos modelos se excluyen entre sí. O bien eres partícula, o bien onda.

—Como esta mesa, que está hecha de partículas, o la luz y el sonido, que son ondas, ¿no es así?

—Y, finalmente, la joya de la corona de la ciencia: la objetividad. Desde su altar de conocimiento, los científicos podrían observar la naturaleza y estudiarla. Se partía de la certeza de que existe una realidad única y objetiva ahí fuera. Lo que en filosofía se entendía como materialismo.

—¿Y cómo afectó esa visión del mundo a la vida cotidiana de la gente que no sabía física?

—De mil maneras. El legado de Newton permitió que los ingenieros creasen las primeras máquinas, iniciándose una revolución industrial que desembocó a su vez en una revolución social. Empezaron las migraciones de los campos a las ciudades, produciéndose también una revolución económica. Adam Smith, usando una analogía newtoniana, daba a entender que una «fuerza invisible» equilibraría la economía y la política para un bien global.

—Ya se ha visto que no siempre es así —comenta Francesc mientras mira de reojo un periódico sobre la mesa; en portada, el gobierno propone nuevos recortes.

—El mecanicismo se extendió hasta todas las esferas del conocimiento… Hasta que todos estos postulados que te he numerado, uno a uno, se tambalearon hasta caer con el nacimiento de la física cuántica.

El pájaro mecánico de un reloj de cuco canta las ocho de la mañana.

—¡Vaya por Dios! —exclamo—. Qué tarde se nos ha hecho… ¡Ya es de día! Creo que por hoy es suficiente.

—Es cierto lo que decía Einstein de que el tiempo es relativo: estas horas me han pasado volando. ¿Qué te parece si te invito a un desayuno con partículas?

2
Cuatro fábulas y un prejuicio para entender la resistencia al cambio

> Es más fácil desintegrar un átomo que un prejuicio.
>
> ALBERT EINSTEIN

HAY UNA REALIDAD AHÍ FUERA, según la física clásica, pero ¿y si los límites de nuestra propia realidad los marca el «ancho de banda» de nuestra percepción sobre lo que nos rodea y los filtros que suponen nuestros prejuicios e interpretaciones?

Buda decía que somos lo que pensamos, ya que nuestra forma de ver el mundo acaba dando forma a nuestra realidad.

Siempre pienso en eso al recordar una anécdota de cuando vivía en casa de mis padres. Cada mañana cruzaba un pequeño parque para ir al instituto; unas rocas blancas y planas, colocadas a modo de baldosas, trazaban un camino en forma de serpiente que permitía cruzar el jardín sin pisar el césped.

Recuerdo que las piedras estaban dispuestas con una incómoda separación entre ellas. Para seguir ese camino, los transeúntes se veían obligados a avanzar a saltitos. Por ese motivo, la mayoría evitaban las molestas rocas pasando por el lateral izquierdo de éstas.

Debido a que todos los vecinos pasábamos diariamente por el mismo sitio, en aquel lateral dejó de crecer la hierba y acabó creándose un sendero alternativo en el jardín.

Cuando cruzaba yo también aquella senda, me divertía pensar cómo con mis pasitos contribuía a la creación de aquel camino alternativo.

Una tarde, a la vuelta del instituto, descubrí que los jardineros habían levantado todo el césped del jardín. Las flores, columpios y arbustos, y por supuesto el sendero que entre todos habíamos creado, habían desaparecido.

El jardín se había convertido en un parque de arena revuelta.

Un poco desconcertada, me disponía a recorrer el sendero ya desaparecido cuando un niño pasó corriendo a mi lado persiguiendo una pelota. En vez de seguir el camino que había serpenteado en el parque, lo cruzó de punta a punta trazando una perfecta diagonal.

Fue entonces cuando me di cuenta de que las sendas preestablecidas habían desaparecido. Era completamente libre de elegir un nuevo trayecto, el que yo quisiera. Tenía todos los caminos posibles ante mí.

RUTAS MENTALES NEGATIVAS

Años más tarde, aprendí cómo los caminos que tomamos en nuestro pensamiento acaban generando senderos que provocan reacciones determinadas. Por ejemplo, si no frenamos el hábito de pensar mal de los demás, cuando el sendero mental esté ya creado, todo el mundo se convertirá en enemigo a nuestros ojos.

Las conexiones entre nuestras neuronas crean rutas concretas por las que se transmite la información. Como aquel jardín que, después de pasar cientos de veces por el mismo sitio, acaba creando un sendero que parece único, éste es el motivo por el que siempre reaccionamos igual ante un estímulo conocido. Ignoramos que el camino lo decidimos nosotros, es decir, cada cual elige su forma de pensar y reaccionar.

Los procesos automáticos negativos nos frenan y se convierten en una fuerza limitadora. El conductor que grita y maldice al quedarse atrapado en un atasco podría mitigar el estrés sintonizando una emisora de música clásica, pero reacciona automáticamente porque ha creado un camino preestablecido sin darse cuenta. Si alguien le filmara secretamente durante el ataque de furia, al verse se quedaría asombrado y se avergonzaría, cambiando inmediatamente de actitud.

Podemos ser víctimas de nuestras reacciones o dueños de éstas. En última instancia, somos nosotros los que elegimos volver a recorrer, una y otra vez, un mismo camino equivocado. La buena noticia es que también tenemos la libertad de plantarnos y no dejarnos llevar por la inercia del pensamiento negativo.

En el plano de los hábitos y las rutinas, hay gente que se resiste a innovar en el trabajo o en su vida privada y se escuda diciendo: «Esto se hace así porque siempre se ha hecho así». Por eso, tareas que podrían resolverse en diez minutos siguen necesitando más de media hora, así como algunas parejas se enrocan siempre en las mismas discusiones sin buscar un nuevo camino a la armonía.

Esta actitud puede resumirse con las provocadoras palabras de Albert Einstein: «No hay nada que sea un signo más claro de demencia que hacer algo una y otra vez y esperar que los resultados sean diferentes».

UN INSTANTE DE CREATIVIDAD

La pregunta esencial es: ¿de qué manera puedo borrar los caminos de mi cerebro, como hicieron los jardineros con aquel parque? Necesitamos un instante de creatividad en el que se desvanezcan las rutas preestablecidas y se abra la infinidad de caminos posibles.

Los maestros de Zen utilizan un método singular para llevar a los novicios a adentrarse en el satori, o estado de iluminación: los koans.

Los koans consisten en frases en apariencia absurdas que plantean un problema

que no puede resolverse desde el pensamiento racional. Probablemente, el koan más conocido es aquel en que el maestro da un aplauso y plantea: «Éste es el sonido de dos manos, pero ¿cuál es el sonido de una sola mano aplaudiendo?».

Con estos acertijos, el pensamiento lógico se encuentra con una paradoja y queda bloqueado. Entonces, la mejor manera de proceder es dejar que el «pensamiento lateral», la intuición, tome las riendas. El koan se deposita en nuestro interior y después de un tiempo, de manera espontánea, nacen las nuevas ideas.

Estas técnicas se utilizan a menudo en las empresas en dinámicas de *brainstorming*. En estas sesiones surgen ideas que parecen absurdas pero que pueden llegar a ser revolucionarias, como, por ejemplo: ¿qué ocurriría si a un caramelo le añadimos un palo?, o ¿y si creásemos un refresco negro?

¿Nos suena?

CREAR NUEVOS CAMINOS

Albert Einstein fue una de las figuras más carismáticas del siglo XX, no sólo por sus contribuciones a la ciencia, sino también por su modo rompedor de pensar e innovar.

En 1905, el «año milagroso» del que hemos hablado, publicó tres trabajos que revolucionarían por completo el mundo de la física. En estos artículos, Einstein aplicó lo que más tarde resumiría con estas sabias palabras: «No podemos resolver los problemas usando el mismo nivel de pensamiento que usamos cuando se crearon».

Siglos antes, Alejandro Magno resolvía un antiguo problema imposible. Las leyendas orientales hablaban de la existencia del «nudo gordiano», un nudo extremadamente complejo que unía dos cuerdas. Según la tradición, aquel que tuviese la sabiduría para desatar el nudo gordiano conquistaría Oriente.

Cuando Alejandro Magno se disponía a dominar el imperio Persa, se enfrentó al reto de resolver el nudo gordiano. Solucionó el problema de manera drástica cortando limpiamente el nudo con su espada. Efectivamente, y con una audacia similar, Alejandro conquistó Asia.

De aquí nace la expresión «complicado como un nudo gordiano», cuando hacemos referencia a un problema de difícil solución y que sólo admite soluciones creativas o de pensamiento lateral.

El pensamiento lateral permitió a Albert Einstein fantasear e imaginarse encima de un rayo de luz, lo que le permitió romper con la idea de un espacio-tiempo absoluto. Sus visiones sobre la naturaleza de la luz, completamente novedosas, contribuyeron en gran medida al nacimiento de la física cuántica.

Cuando nos adentramos en el fantástico mundo de la cuántica, como veremos en los próximos capítulos, enseguida nos encontramos con sucesos extraordinarios: los objetos pueden existir en más de un sitio al mismo tiempo, lo aparentemente sólido

está vacío y un gato puede estar vivo y muerto a la vez.

Estas paradojas, como si de koans se tratasen, desmontan totalmente nuestras estructuras mentales y dan paso a un estado de «confusión», que es el umbral al pensamiento creativo. Es en ese instante cuando nuestro cerebro, igual que aquel jardín, se convierte en un parque de arena en el que todos los caminos son posibles.

El mundo ha cambiado más en los últimos cien años que en toda la historia de la humanidad. Por eso hoy, más que nunca, debemos tener presentes las palabras de Alvin Toffler: «Los analfabetos del siglo XXI no serán los que no sepan leer y escribir, sino los que no puedan aprender, olvidar lo aprendido y aprender de nuevo».

CAMBIO DE PARADIGMA

Thomas Kuhn, historiador y filósofo de la ciencia, en su Estructura de las revoluciones científicas acunó el término «paradigma» —y «cambio de paradigma»— al analizar las circunstancias y procesos a los que se sometía la comunidad científica a lo largo de la historia.

Del trabajo de Kuhn podemos destacar las siguientes etapas:

0. FASE PRE-CIENTÍFICA

Ésta se da en una sola ocasión para cada civilización. Es la época anterior a que exista algún tipo de estructura o consenso científico.

1. CIENCIA NORMAL

En esta fase, los científicos realizan investigaciones en un marco de referencia establecido, es decir, dentro de unas leyes y teorías aceptadas como verdades.

Existe una creencia implícita de que todos los fenómenos podrán explicarse con estas teorías existentes. Sin embargo, a medida que se avanza en las investigaciones, empiezan a aparecer lo que Kuhn denominó anomalías.

Las anomalías son fenómenos observados que no pueden explicarse dentro del marco de referencia establecido. Las teorías existentes no consiguen darles respuesta.

Cuando estas anomalías son pocas o de ligero impacto, la seguridad ante el paradigma establecido no corre peligro. Sin embargo, en cuanto estas anomalías llegan a un punto crítico, la comunidad científica empieza a perder la confianza en el sistema establecido y su conjunto

de verdades.

Es entonces cuando se inicia la siguiente fase.

2. CRISIS

La comunidad científica se centra en el estudio de las anomalías y focaliza sus esfuerzos en encontrar teorías alternativas que puedan explicar estos nuevos fenómenos, aunque contradigan ideas antes incuestionables.

En esta fase de ciencia revolucionaria surgen múltiples teorías, algunas de ellas de lo más estrambóticas. Se trata de uno de los momentos de mayor creatividad de la ciencia. Finalmente, una de estas nuevas propuestas sobresale de entre las demás y es abrazada por la mayor parte de la comunidad científica, dando paso a la siguiente etapa.

3. NUEVO PARADIGMA

Este proceso no termina aquí, sino que, de modo cíclico, vuelve al punto 1.

Merece la pena observar cómo la comunidad científica tiende a centrar su atención en las anomalías, en vez de ocultarlas (como sucede en el ámbito financiero o político). Para la ciencia, estas anomalías son esenciales para avanzar. Hacer lo contrario, esconderlas, sólo sirve para perpetuar la fase de crisis, algo no muy inteligente.

PRIMERA FÁBULA: LOS MONOS Y LAS BANANAS

En 1967 un equipo de científicos liderado por Stephenson realizó el siguiente experimento: encerraron a cinco monos en una jaula, en cuyo centro situaron una escalera con unas apetitosas bananas en lo más alto.

El mono más espabilado y rápido enseguida se aventuró a subir los peldaños para hacerse con el botín. En ese mismo instante, los científicos rociaron al resto de los monos, que estaban en el suelo, con chorros de agua helada.

Al cabo de poco tiempo, los monos dedujeron que cada vez que uno de ellos subía a por las bananas, los que quedaban abajo recibían, como castigo, el chorro de agua fría.

Como resultado del aprendizaje, cada vez que alguno hacía el ademán de subir por la escalera, el resto se lanzaba encima del aventurero y se ensañaban con él para

disuadirle de que llevase a cabo su hazaña.

Con el tiempo ninguno de los monos se atrevía a subir la escalera, a pesar de la tentación de las bananas.

En ese momento, los científicos decidieron cambiar a uno de los monos. El recién llegado, al ver las fantásticas frutas, se dispuso a subir la escalera. El resto de los monos lo bajaron rápidamente, propinándole una buena paliza. Después de intentarlo en otras ocasiones y recibir palizas una y otra vez, el nuevo integrante del grupo cesó en su empeño, pese a que nunca entendió el porqué de tantos golpes.

Un segundo mono fue sustituido, y ocurrió exactamente lo mismo. En esta ocasión, el primer sustituto se apuntó con entusiasmo a propinarle la paliza al novato.

Los científicos fueron cambiando uno a uno a los monos hasta que no quedó ninguno de los originales. Cinco monos que habían cejado en su empeño de subir a por las bananas, y que además golpearían al que se atreviese a ir a por ellas, a pesar de no haber recibido jamás un chorro de agua fría.

Esta fábula hace que nos preguntemos: ¿a cuántas bananas estaremos renunciando por seguir cargando con antiguas creencias?

Veamos a continuación otra historia que explica cómo se construye un dogma.

SEGUNDA FÁBULA: EL GATO DEL TEMPLO

Un relato tradicional hindú cuenta que cuando un conocido gurú se sentaba en el templo a pronunciar sus oraciones, un gato del vecindario solía entrar y distraía a los congregados. Esto hizo que el sacerdote finalmente ordenara que se atase al felino a una columna durante el servicio divino. Cuando el gurú hubo fallecido, el gato siguió atado durante las oraciones. Muerto el animal, los fieles trajeron al templo otro gato, al cual ataban mientras tenía lugar el culto. Siglos después, los discípulos del gurú escribieron sesudos tratados sobre la significación litúrgica de atar un gato a la columna durante el servicio divino.

TERCERA FÁBULA: EL DÍA DE LA MARMOTA

En uno de los argumentos más originales que ha planteado la industria de Hollywood, la comedia dirigida por Harold Ramis *El día de la marmota* —en España se estrenó como *Atrapado en el tiempo*— es una fábula divertida e iluminadora sobre la inercia.

Su protagonista —Bill Murray— es el hombre del tiempo de una cadena de televisión que acude a una pequeña población de Pensilvania donde cada 2 de febrero se celebra el Día de la Marmota, una tradición que pronostica, según la conducta de

uno de estos animales, cuánto tiempo queda para el fin de la estación fría.

Tras las tomas de rigor, el hastiado periodista se dispone a regresar a su ciudad cuando queda atrapado en una tormenta de nieve y debe pasar la noche en el pueblo. Para su asombro, al día siguiente suena la misma canción en el radiodespertador, «I got you Babe», y a medida que se viste, desayuna y sale a la calle, se da cuenta de que está viviendo nuevamente el Día de la Marmota.

El gran éxito de esta película se debió, en buena parte, a que millones de espectadores se identificaron con la situación del protagonista. Cuando cada día que vivimos es igual al anterior, y el siguiente no promete ser distinto, nos sentimos atrapados en nuestro «día de la marmota» particular.

La resolución de la película es una buena pista para romper este bucle vital que nos llena de apatía y abatimiento. Cuando impedimos que nos arrastren los acontecimientos y empezamos a introducir cambios efectivos en nuestra jornada, la marmota deja de marcar el tiempo.

Sobre esto, no está de más recordar la enigmática frase que iniciaba la aventura cuántica del protagonista de *La puerta de los tres cerrojos*: «Si quieres que sucedan cosas distintas, deja de hacer siempre lo mismo».

CUARTA FÁBULA: EL ELEFANTE Y LA ESTACA

El cuento más conocido del psicoterapeuta y escritor Jorge Bucay ilustra de manera muy diáfana en qué consiste una barrera psicológica en la vida cotidiana. Lo hace a través de la historia de un elefante.

Un niño observaba en un circo un enorme ejemplar que, después de hacer gala de una gran fuerza durante su número, permanecía atado a una pequeña estaca clavada en el suelo, con una cadena que aprisionaba sus patas. Era obvio que un elefante de esa envergadura tenía que ser capaz de liberarse con facilidad de aquel pequeño trozo de madera y escapar.

El niño se preguntaba qué sujetaba entonces al animal. ¿Por qué no huía? Al trasladar su duda a los mayores, le respondieron que el elefante no se escapaba porque estaba amaestrado. «Pero, si está amaestrado, ¿por qué lo encadenan?», preguntó entonces el niño. Y nadie supo darle una respuesta.

Muchos años después, alguien le contó que aquella bestia del circo no escapaba porque había estado atado a una estaca parecida desde que era muy pequeño. En aquel momento, el elefantito empujó, tiró y sudó tratando de soltarse. Y, a pesar de sus esfuerzos, no lo consiguió, porque aquella estaca era demasiado grande para él. Lo intentó hasta el agotamiento, un día tras otro, hasta que el animal aceptó su impotencia y se resignó a su destino. Y ahora ese elefante enorme y poderoso no huye

porque aún cree que no puede. Tiene grabado el recuerdo de su fracaso, cuando era diez veces más pequeño. Jamás ha vuelto a poner a prueba su fuerza.

Del mismo modo que ese elefante, muchas personas que en el pasado no fueron capaces de conseguir algo —encontrar pareja, cambiar de trabajo, aprender un idioma o una nueva habilidad—, siguen clavadas a una estaca que podrían derribar con sólo dar un paso hacia delante.

INDEFENSIÓN APRENDIDA

El psicólogo estadounidense Martin Seligman acuñó este término para explicar por qué, bajo determinadas circunstancias, los seres humanos aceptamos el sufrimiento y el dolor sin oponernos a él.

En los años setenta, Seligman y su equipo de colaboradores realizaron el siguiente experimento:

Un primer grupo de perros, colgados de unos arneses, recibían descargas eléctricas continuadas. Los animales no podían hacer nada para evitarlas.

El segundo grupo de perros, colgados exactamente con el mismo dispositivo, recibían también las descargas eléctricas. Sin embargo, este segundo grupo disponía de un botón que quedaba al alcance de su hocico. Si lo apretaban, se libraban de la descarga.

Tras dejar pasar el tiempo suficiente para que el segundo grupo aprendiese a librarse de las descargas y el primero se resignase a recibirlas, los científicos colocaron a cada uno de los perros en una nueva jaula. Ésta estaba dividida en dos partes: en una mitad del suelo se producían descargas eléctricas, mientras que la otra quedaba libre de esa tortura. Sólo un pequeño escalón separaba las dos mitades.

Cada uno de los perros fue colocado en la mitad donde se producían las descargas.

Los animales que habían formado parte del primer grupo, que no habían tenido ninguna opción de librarse de las descargas, simplemente se acurrucaban en una esquina y se resignaban a sufrir aquello. En cambio, los perros que habían aprendido a detener las descargas, acababan subiendo el escalón y se colocaban felizmente en la mitad de la jaula sin ese doloroso dispositivo.

De este experimento se deduce que tanto la iniciativa como la indefensión pueden aprenderse.

UN PREJUICIO: LA BARRERA DE LOS DIEZ SEGUNDOS

Cuando se habla de creencias limitadoras y fronteras psicológicas, a menudo se cita lo que sucedió con la barrera de los 10 segundos en los 100 metros lisos.

Hasta 1968 se consideraba del todo imposible cubrir esa distancia por debajo de los 10 segundos. Era una verdad absoluta que sería puesta en evidencia aquel año por Jim Hines, un afroamericano que asombró al mundo al lograr la marca de 9,95. En una entrevista, reveló que su secreto era correr con la mentalidad de que «la carrera no termina nunca».

Pero eso no fue lo más sorprendente. Teniendo en cuenta que esa barrera se mantuvo a lo largo de siete décadas, en las que se habían celebrado olimpiadas y otros certámenes, pasaron menos de nueve años para que otro atleta, Silvio Leonard, bajara nuevamente de los 10 segundos. El tercero, Carl Lewis, lo hizo cinco años y medio después. Un mes y medio más tarde, un hombre llamado Calvin Smith batía nuevamente esa marca.

¿Qué había sucedido? Algo muy sencillo: al demostrarse que un ser humano podía correr los 100 metros en menos de 10 segundos, los atletas abandonaron la *verdad absoluta* de que era imposible hacerlo y, eliminada esta barrera psicológica, fueron batiendo la marca cada vez más a menudo.

En la actualidad, es un resultado habitual de esta categoría en las carreras a máximo nivel.

Por lo tanto, además de romper un prejuicio, Jim Hines derribó un muro en la mente de los corredores venideros. El freno de la imposibilidad se había convertido en el reto de lo posible.

3
Los 29 de Solvay

El universo empieza a parecerse más a un gran pensamiento que a una gran máquina.

SIR JAMES JEAN

ME DESPIERTA UNA VIOLENTA SACUDIDA. Pasamos por una zona de turbulencias. Todavía somnolienta, veo a mi lado a Francesc. No ha parado de revisar sus notas en la Moleskine con expresión preocupada. Dice que durante el bachillerato suspendía la asignatura de física una y otra vez, por lo que tiene miedo de no entender nada de lo que se encontrará en el congreso.

—¿Sabes lo que decía Feynman, uno de los grandes genios de la física moderna? —le digo para tranquilizarle mientras las azafatas del Airbus 320 nos reparten café y galletas—. Aseguraba que nadie entiende del todo la mecánica cuántica. Por eso recomendaba «Relájense y disfruten» a los que se interesan por el comportamiento de la materia, pues si pretendes entender cómo puede ser que la naturaleza se comporte de un modo tan extraño, entrarás en un callejón sin salida. «Nadie comprende la mecánica cuántica», decía.

Mi compañero de viaje sonríe y me confiesa:

—He estado leyendo por encima algunos de los principios de la física moderna, y me he quedado un poco desanimado, por decirlo suavemente… Me resulta difícil de creer: partículas que atraviesan paredes, que pueden estar en dos sitios a la vez… ¡No entiendo nada!

—No sólo aquello que nos parece racional se puede comprender… Niels Bohr dijo en una ocasión que si la mecánica cuántica no le deja a uno perplejo, es que no la ha entendido.

—Si los padres de esta extravagante teoría decían todo esto sobre ella… no seré yo quien les desafíe.

—¡Por supuesto que lo harás! —le animo—. Para eso estamos aquí, para adentrarnos en el fantástico mundo de la cuántica.

Hacemos una pausa para tomar el café con galletas.

—Cuando me pediste que te acompañase a este congreso de Bruselas dijiste que era un lugar simbólico para iniciar nuestro viaje cuántico. ¿Qué tiene de especial esta ciudad?

—Fue precisamente en Bélgica donde se celebraron las conferencias científicas que reunieron a los padres de la teoría cuántica: las Conferencias de Solvay.

Las azafatas ya recogen los restos del desayuno. Faltan pocos minutos para

aterrizar.

—Llevan el nombre del químico industrial belga Ernest Solvay —prosigo con mi explicación—, pues gracias a su mecenazgo pudieron realizarse estas conferencias. En la primera, en otoño de 1911, se invitó a una veintena de relevantes científicos. El tema principal era «La radiación y los quantos». De entre todos los participantes, el segundo físico más joven de todos fue Albert Einstein. Y entonces no era ni mucho menos el científico más reconocido, en un congreso donde estaban Marie Curie, Poincaré, Planck, Lorentz, Langevin, James Jean, Rutherford…

—Una reunión de cerebritos, vamos.

—Más que eso… ¡Una reunión de célebres cerebritos! En el folleto del congreso hay una imagen de esta primera conferencia —le digo mientras le enseño la fotografía—. ¿Reconoces al joven Einstein?



Imagen de la primera conferencia de Solvay, en 1911.
Fotografía de Benjamin Couprie

Las azafatas nos recuerdan que debemos ponernos los cinturones. Nuestro avión inicia el aterrizaje en el aeropuerto de Bruselas.

Una vez en el taxi camino del hotel, Francesc retoma la conversación:

—Entonces esta conferencia sería un pistoletazo de salida para la teoría cuántica… Por cierto, el origen del término «cuántico», ¿de dónde sale?

—La palabra «cuántica» nace, en 1900, gracias a Max Planck. Un científico estricto que, muy a su pesar, se convirtió en un revolucionario en toda regla al descubrir que la radiación se estaba saltando todas las leyes físicas conocidas hasta

entonces.

—¿Y qué pasaba con la radiación?

—Aunque a finales del siglo XIX se creía que ya estaba casi todo explicado, un enigma seguía ensombreciendo el horizonte clásico: la radiación térmica. Al calentar un objeto, por ejemplo, un trozo de metal, hacemos que sus electrones vibren más deprisa. Cuando un electrón se mueve, emite radiación. Simplificando mucho podemos decir que emite luz. Por eso cuando el metal está muy caliente va cambiando de color: lo vemos rojo, naranja, y si lo calentásemos lo suficiente, incluso azulado[3].

—Eso lo comprendo, al fundir el hierro es cierto que cambia de color. Se ve en los documentales sobre los altos hornos.

—También puedes notar el calor de la radiación que emite la palma de tu mano si la acercas suavemente a la cara.

Francesc reproduce mis palabras para experimentarlo en su piel mientras prosigo con mi explicación:

—Los físicos intentaron describir el fenómeno de la radiación mediante la teoría clásica, pero no les salió bien. A ese fracaso lo bautizaron como «la catástrofe ultravioleta».

—Suena a ciencia ficción.

—Era realmente una catástrofe, pues según una ecuación de la física clásica, nadie podría sentarse delante de una chimenea encendida, ya que la radiación que emiten las brasas nos chamuscaría al instante.

—Muy románticos no eran…

—Planck dio con la explicación correcta de por qué una pareja puede abrazarse a la luz de una chimenea sin peligro a carbonizarse —le contesto siguiendo su chiste—. Aunque lo que encontró no le gustó. La física clásica asume que el electrón del material calentado radia energía al vibrar. La energía, según los antecesores de Planck, se perdía de forma continua: del mismo modo que un niño que se columpia se va frenando poco a poco al rozar con el aire hasta detenerse del todo. —Miro de reojo a Francesc para saber si me sigue—. Planck se escandalizó al comprobar que los electrones se saltan las normas clásicas, ya que, en vez de radiar o perder energía suavemente, lo hacen en pequeños paquetes indivisibles de energía que él llamaría «cuantos». Estos paquetes o cuantos están determinados por la llamada «constante de Planck» o *h*. Para entendernos, es como si el niño que se columpia se fuese frenando a base de pequeños tirones.

—Es raro… pero si la naturaleza se comporta como tú dices, ¿por qué no vemos a los niños columpiarse a saltos?

—En realidad así lo hacen, pero estos saltos de energía son tan pequeños que el ojo humano los percibe como un movimiento continuo.

—Haber alumbrado la cuántica no me parece algo de lo que arrepentirse. ¿Por qué dices que se escandalizó y que hizo este descubrimiento «muy a su pesar»?

—Planck era la típica persona que siempre seguía las normas y le violentó averiguar que el mundo cuántico no funciona así. De haber podido, habría multado a esos descarados electrones por contrabando de paquetes de energía violando las leyes de Newton. Él mismo ponía en duda que los cuantos de energía existiesen realmente, y se escudaba diciendo que podían ser un simple artilugio matemático. De ese modo, la revolución cuántica llegó casi pidiendo disculpas.

LA ÚLTIMA MATRIOSKA

La cafetería del hotel dispone la comida en rebosantes aparadores con todo tipo de manjares, recetas típicas belgas y pasteles. Nos disponemos a llenar nuestros platos siguiendo la cola que se ha formado.

Reconozco al instante a la persona que está justo delante de nosotros: el premio Nobel Murray Gell-Mann.

Mi primera reacción es darle un disimulado pisotón a mi acompañante, seguido de un sutil movimiento de cabeza. Siempre pienso que todo el mundo reconocerá sin problemas a un premio Nobel de Física.

Quizá por la emoción, mi puntapié es más enérgico de la cuenta. Francesc da tal respingo que derrama parte de su agua con gas sobre la chaqueta de Gell-Mann.

Un desastre.

Por fortuna, Gell-Mann es, de cerca, tan amable como en sus conferencias. Nos dedica una sonrisa infantil tras su rostro surcado por la edad mientras nos disculpamos.

—Pero ¿acaso no le has reconocido? —le pregunto a Francesc al ocupar una mesa cercana a los ventanales.

—¿A ese anciano simpático? Ni idea de quién es.

—Pues es nada menos que Murray Gell-Mann, premio Nobel por sus teorías en física de partículas. Fue él quien puso nombre a los *quarks*, constituyentes fundamentales de la materia.

—Ajá, los carts, claro… Tengo un amigo al que le encanta montarse en esos chismes —bromea Francesc mientras me guiña un ojo.

—Esto que parece tan sólido —prosigo dando un sonoro golpe en la mesa—, sabemos que está formado por átomos. Cada uno de ellos tiene un núcleo con electrones que orbitan a su alrededor. Sin embargo, si nos adentramos en el núcleo, descubrimos que está formado por otras partículas más pequeñas llamadas neutrones y protones. Pero los científicos se adentraron todavía más en la aventura de comprender la materia, y descubrieron que, a su vez, los protones y los neutrones están formados por unas partículas más pequeñas llamadas *quarks*.

—Y estos quarks son los que descubrió este venerable anciano al que casi duchamos de agua con gas —añade Francesc mientras mira disimuladamente hacia la

mesa donde se ha sentado el premio Nobel.

—¡Exacto! Y toda la materia que ves a tu alrededor está compuesta fundamentalmente por quarks y electrones.

—¿Y cómo sabes que no hay nada más allá de los quarks? Es decir, me imagino los átomos como esas muñecas rusas, las matrioskas. A medida que las desmontas vas sacando una figura tras otra hasta llegar a la más pequeña. Pero si siempre que indagamos en la materia se encuentran partículas más pequeñas… ¿Cómo sabemos que el quark es la última matrioska?

—No lo sabemos —le respondo—, pero, de momento, es hasta donde hemos conseguido llegar.

En este punto, Francesc dibuja distraídamente un átomo en su servilleta.



—Ésta es la visión que tenemos de un átomo, ¿verdad? —prosigo con mi explicación—. Pero en realidad esta ilustración no está, ni mucho menos, a escala. Imaginemos que el núcleo del átomo fuese del tamaño de una pelota de ping-pong. Si la colocásemos en el centro de un gran estadio de fútbol, el electrón sería más pequeño que la punta de un alfiler y daría vueltas alrededor de la última gradería. Todo lo demás, porterías, asientos, césped, etcétera, que forma parte del átomo estaría completamente vacío[4].

—Es decir, que en la materia hay más agujeros que queso.

—¡Y tanto! Cada átomo está un 99,999999999999% vacío.

—Cuesta imaginarlo.

—Lo sé, pero piensa que si pudiésemos agrupar todos los átomos que forman la humanidad, los de todos y cada uno de los seres humanos que habitamos el planeta, si juntásemos las partículas que forman esos átomos, quitando el espacio vacío entre ellas, toda la especie humana cabría en un simple terrón de azúcar.

—¡Increíble! Pero dulce. De hecho, Buda ya decía que todo está vacío, y en el Tao Te Ching hay un poema muy bello sobre la importancia del vacío. A ver si lo recuerdo…

Treinta radios convergen en el centro de una rueda,
pero es su vacío
lo que hace útil al carro.
Se moldea la arcilla para hacer la vasija,
pero de su vacío
depende el uso de la vasija.
Se abren puertas y ventanas
en los muros de una casa,
y es el vacío
lo que permite habitarla.
En el Ser centramos nuestro interés,
pero del No-Ser depende la utilidad.

—No se podría haber explicado mejor. De hecho, el vacío cuántico es más parecido a una olla a presión, donde hay nada y todo al mismo tiempo, ya que de él puede surgir cualquier cosa. Pero ya entraremos en ello más adelante.

—Me has dejado de piedra… —reconoce Francesc—. Miro a mi alrededor y me parece increíble que todo lo que parece tan sólido sea prácticamente espacio vacío… ¿Tanto nos engañan los sentidos?

—Ay, amigo mío… ¿Realmente te crees aquello que ves? ¿No será que «ves aquello que crees»? Recuerdo un texto curioso que una vez me mandaron por e-mail. Me hizo mucha gracia. Es un pequeño juego muy fácil: de entrada, sólo tienes que contar el número de efes que aparecen en este texto.

Escribo en una servilleta lo siguiente en inglés y se lo muestro:

FINISHED FILES ARE THE RESULT OF YEARS OF SCIENTIFIC
STUDY COMBINED WITH THE
EXPERIENCE OF YEARS.

—Puedo contar tres efes —dice convencido Francesc.

—Igual que yo la primera vez… Pero vuelve a intentarlo, y ahora no te saltes la palabra «of». Verás que no hay tres, sino seis efes.

—¡Es cierto! ¿Cómo es posible?

CREES LO QUE VES… ¿O VES LO QUE CREES?

Veamos otro ejemplo: Si consigues leer las primeras palabras, el cerebro descifrará las otras:

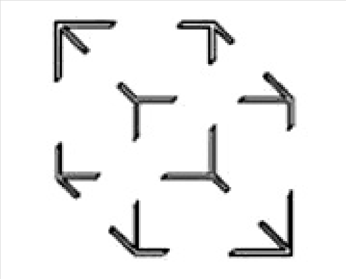
Cierto día…

C13R70 D14 D3 VER4N0 3574B4 3N L4 PL4Y4 O853RV4ND0 D05 CH1C45 8R1NC4ND0 3N L4 4R3N4, 357484N 7R484J4ND0 MUCH0 C0N57RUY3ND0 UN C4571LL0 D3 4R3N4 C0N 70RR35, P454D1705 0CUL705 Y PU3N735. CU4ND0 357484N 4C484ND0 V1N0 UN4 0L4 9U3 D457RUY0 70D0 R3DUC13ND0 3L C4571LL0 4 UN M0N70N D3 4R3N4 Y 3SPUM4. P3N53 9U3 D35PU35 D3 74N70 35FU3RZ0 L45 CH1C45 C0M3NZ4R14N 4 LL0R4R, P3R0 3N V3Z D3 3S0, C0RR13R0N P0R L4 P14Y4 R13ND0 Y JUG4ND0 Y C0M3NZ4R0N 4 C0N5TRU1R 07R0 C4571LL0.

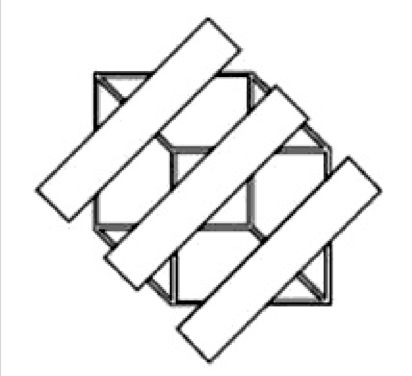
C0MPR3ND1 9U3 H4814 4PR3ND1D0 UN4 6R4N L3CC10N; 64S74M05 MUCH0 713MP0 D3 NU35TR4 V1D4 C0N57RUY3ND0 4L6UN4 C054, P3R0 CU4ND0 UN4 OL4 L1364 4 D357RU1RL0 T0D0, S010 P3RM4N3C3 L4 4M15T4D, 31 4M0R, 31 C4R1Ñ0, Y L45 M4N05 D3 46U31105 9U3 50N C4P4C35 D3 H4C4RN05 50NR31R.

Vilayanur S. Ramachandran y Diane Rogers-Ramachandran, investigadores en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de San Diego, afirmaban que cuando un objeto queda en parte oculto, el cerebro lo reconstruye con gran maña y crea un todo visual.

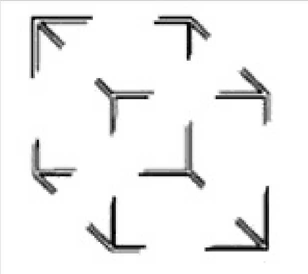
El mejor ejemplo lo vemos en la ilustración de Gaetano Kanizsa que podéis ver a continuación[5]:



En la imagen anterior observamos un conjunto de «patas de gallina» ordenadas con cierta simetría. Sin embargo, basta con añadir a continuación unas barras diagonales para que inmediatamente nuestro cerebro lo perciba como un hexaedro.



Es asombroso que ni siquiera necesitamos la visión explícita de estas barras diagonales: unas de ilusorias bastarán para inducir al cerebro a ver un cubo oculto tras unas barras invisibles:



No se conoce el proceso que siguen las neuronas de las vías visuales del encéfalo para unifi car las porciones de información y concatenarlas para construir un objeto completo. A ese proceso se le denomina *complementación amodal* y resulta difícil, e incluso imposible, programarlo en un ordenador. Sin embargo, nuestro cerebro lo realiza de modo natural. Este proceso ha evolucionado para que los animales —los seres humanos entre ellos— podamos reconocer las presas y depredadores ocultos en medio del bosque.

Cuando un buen amigo se acerca hacia nosotros, enseguida le reconocemos la cara, su perfil, sus movimientos. Incluso lo podemos reconocer viéndole desde atrás. En un instante identificamos millones de tonalidades de distintos colores, percibimos sin dificultad los olores, nos estremecemos ante el tacto suave de una caricia… Todos estos procesos nos parecen muy simples. Sólo tenemos que abrir los ojos y el resto de los sentidos, conectarlos al mundo, y ya lo tenemos.

Sin embargo, para tener estas experiencias sensoriales necesitamos que miles de millones de pequeñas células nerviosas transmitan todos estos mensajes urgentes a través de las autopistas entrelazadas de nuestro cerebro. Unos procedimientos muy complejos que los científicos todavía no han ni empezado a comprender.

Dice Anthony Movshon, investigador de la Universidad de Nueva York: «Podemos pensar en los sistemas sensoriales como pequeños

científicos que generan hipótesis acerca del mundo que nos rodea». ¿Qué significa ese olor? ¿De qué color es esto en realidad? Para ofrecernos estas respuestas, nuestro cerebro crea conjeturas a partir de la información a la que tiene acceso, y a partir de ahí construye hipótesis.

Francesc echa una ojeada a mi plato casi intacto. Con tanta charla, me he olvidado de almorzar.

—Hazle un poco de caso a ese manjar —me dice—, no tienes mucho tiempo antes de que empiece la primera charla del congreso. Además, ya no tienes que preocuparte por las calorías. Al fin y al cabo, por lo que me has contado, tu bocata está más de un 99% vacío.

Mientras termino a toda prisa lo que queda en mi plato, me fijo en que Francesc está absorto en sus propias reflexiones.

—Un penique por tus pensamientos.

—Dos cosas me rondan ahora mismo por la cabeza —explica muy serio—. La primera es que quizá el banco me rebaje la hipoteca. Si les explico que en realidad mi piso es prácticamente espacio vacío, podría incluso liquidarla de manera automática. Por otra parte… si la silla en la que estoy sentado en realidad está casi vacía, ¿por qué no me caigo? ¿No debería atravesarla? Debería poder hacer como Kitty Pryde de los X-Men, que atraviesa las paredes.

—Las fuerzas son las encargadas de no permitirte tal proeza. ¿Tienes apuntadas en tus notas cuáles son las fuerzas que conocemos hoy en día?

—Creo recordar que son cuatro —contesta feliz de demostrar que está aprovechando la lección—: la fuerza gravitatoria, la electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la nuclear débil[6].

—¡Excelente, Francesc! La fuerza que hace más tiempo que conocemos es la de la gravedad. Podemos pensar que es la más poderosa, pues es la responsable de que los planetas se muevan alrededor del Sol, que se rompa un plato si cae al suelo… Incluso sentimos su efecto cuando nos levantamos soñolientos cada mañana.

—Doy fe de ello —reafirma Francesc—, la gravitatoria es la más poderosa…

—¿Puedes subir este taburete encima de la mesa? —le reto señalándole un asiento a nuestro lado.

Francesc, obediente, no lo duda dos veces y con una sola mano se presta al experimento con éxito.

—Acabas de demostrar —le digo satisfecha— que puedes superar fácilmente, tan sólo con tus músculos, la fuerza que hace toda la Tierra para atraer ese taburete.

—Eso sólo demuestra que soy más fuerte de lo que parezco —bromea.

Como un mago que prepara el truco final, llega el momento de sacar el par de

imanes que guardo en la mochila. Con un rápido movimiento coloco uno de ellos sobre una de las cucharillas metálicas hasta levantarla de la mesa.

—¿Has jugado alguna vez con un imán? Como ves, también estos pequeños imanes pueden con la fuerza gravitatoria. Transmiten una fuerza llamada electromagnética, la misma que hay en los rayos y la electricidad. Es millones de veces más fuerte que la gravitatoria. Ahora imagínate que subimos al tejado del hotel y saltamos hacia el jardín. ¿Qué ocurriría?

—Que nos romperíamos una pierna, como mínimo.

—Si lo analizamos más detalladamente, la fuerza gravitatoria nos atraería hacia el patio pero, como bien dices, nos daríamos un buen porrazo. No atravesaríamos los átomos del suelo hasta llegar al centro de la Tierra.

—No sé qué sería peor…

—Los átomos del suelo tienen en su capa externa cargas eléctricas negativas que se encontrarán con las cargas negativas de la de nuestro cuerpo. ¿Me sigues? —Mi acompañante asiente, no muy convencido—. Y ahora dime: ¿qué ocurre cuando juntas dos cargas eléctricas del mismo signo, en este caso negativas?

—Que se repelen entre sí.

—En efecto, y precisamente se repelen con tanta fuerza, que un trocito de suelo consigue resistir la fuerza que toda la Tierra hace para atraerte hacia su centro. Ése es el motivo por el que el suelo nos detendrá.

—Entiendo… —dice él muy serio—. Éste es el motivo por el que ahora mismo no atravieso la silla en la que estoy sentado.

—¡Elemental, querido Watson! Las cargas negativas de la silla repelen las de tu cuerpo y te dan la sensación de estar sentado y tocando realmente la superficie de madera.

—¿Quieres decir que mi trasero no está tocando la silla?

—De nuevo tus sentidos te engañan. No estás sentado, sino levitando por encima de la silla a una altura de un angstrom[7] aproximadamente.

—Lo cierto es que cuesta creerlo…

—¿Nunca has intentado juntar dos imanes por sus caras con la misma polaridad? Pruébalo ahora. —Le animo a que lo haga con el par de imanes que están sobre la mesa—. Fíjate, a medida que los acercas, cada vez cuesta más juntarlos, ¿verdad? Ahora cierra los ojos y repite el mismo movimiento pero lentamente.

Cuando Francesc coloca los imanes lo suficientemente cerca, le pregunto:

—¿No tienes la sensación de que ya están en contacto?

—Pues sí que lo parece, es como si hubiese una superficie esponjosa…

—Pero, si abres los ojos, comprobarás que en realidad todavía queda un pequeño espacio entre ellos. La fuerza electromagnética es la responsable de esa sensación… Exactamente igual a la que tienes al estar sentado.

De repente, me levanto y le doy un sonoro beso en la mejilla.

—Siendo fieles a la física, podemos decir que no ha sido un beso, pues los

átomos de mis labios ni siquiera han rozado los de tu mejilla.

—Yo es que soy de letras…

Los dos nos reímos.

—Pero bueno, ¿habéis venido a trabajar o a divertiros?

El que nos interrumpe es Antonio, un viejo amigo que ha centrado sus investigaciones en el campo de la información cuántica y trabaja en Estados Unidos.

Después de fundirnos en un caluroso abrazo, cumplo con las presentaciones.

—La primera charla empieza en cinco minutos —me informa Antonio—. ¿Te vienes?

—No te preocupes por mí —añade Francesc—. Yo quiero visitar el Museo Hergé para ver de cerca el cohete de Tintín. ¡Nos vemos para la cena!

DIOS NO JUEGA A LOS DADOS

Cuando Antonio y yo llegamos al comedor del hotel, Francesc ya nos tiene una mesa reservada.

—¿Qué tal la visita al museo? —le pregunta mi amigo físico.

—Fantástica, ¿y vuestras conferencias?

Antonio le resume lo discutido en las charlas con una jerga tan técnica que consigue que Francesc ponga cara de chiste.

—Uf… Detente o me voy a mi habitación sin cenar —le suplica—. Y eso que os he reservado una mesa especial.

—¿Especial? —le pregunto.

—Sí, señores —dice señalando la pared a nuestro lado—. En ese cuadro hay una fotografía de la Conferencia de Solvay del año 1927. Lo pone en el marco. Aquí sí que reconozco a Einstein, y ya no está tan joven…

—Ésta es probablemente la conferencia más famosa de las que se hicieron aquí —dice Antonio, admirado.

—Has elegido la mejor mesa —felicito a mi amigo—. Debió de ser emocionante asistir a aquella reunión. Fíjate bien, de los veintinueve que aparecen en la foto, diecisiete ganaron el Nobel, sin contar que Marie Curie lo ganó en dos disciplinas diferentes: uno en Física y otro en Química.

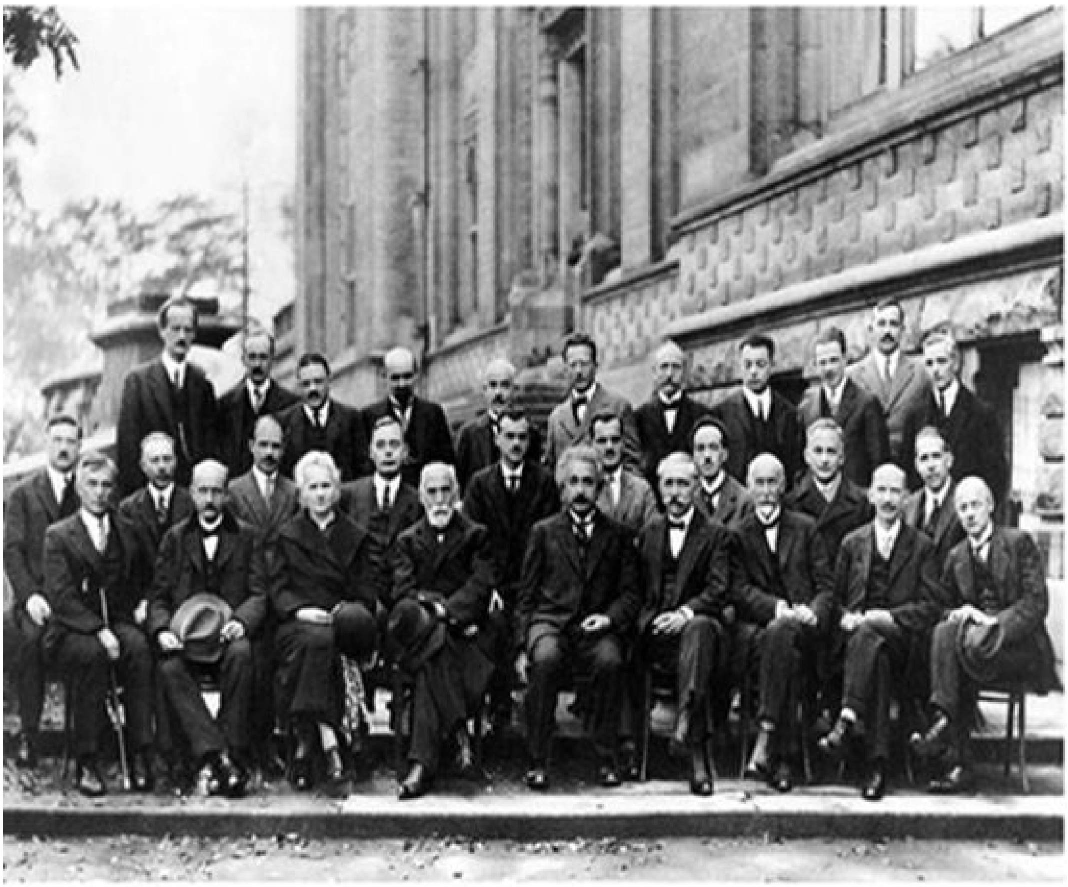


Imagen de la quinta conferencia de Solvay, en 1927. Está considerada la fotografía más importante de la historia de la ciencia.

Fotografía de Benjamin Couprie

—¡Qué grande! —exclama Francesc con admiración.

—Un buen ejemplo para las mujeres científicas —le reconozco.

—Todavía me sorprende —añade Antonio— que estos gigantes de la física coincidiesen en un mismo espacio y tiempo. Es como si se reunieran en una habitación Aristóteles, Eratóstenes, Kepler, Galileo, Newton, Maxwell, Kelvin y otros grandes de la física clásica para hacerles una foto.

Los tres nos quedamos unos minutos en silencio, observando aquella instantánea de la historia de la ciencia. Un grupo de científicos que, en un lapso de tiempo muy corto, cambiarían drásticamente nuestra visión del mundo en el que vivimos.

—¿Recuerdas, Francesc, los grandes postulados de la física clásica? —le pregunto interrumpiendo sus reflexiones.

Rápidamente acude a su Moleskine para encontrar esa parte de sus apuntes:

—Sí, aquí lo tengo. El primero era que el universo se comporta como una gran máquina en un espacio y tiempo absoluto. El segundo: el universo es determinista. Todo tiene una causa y un efecto. Tercero: la energía se explica mediante dos modelos físicos distintos: o partículas o bien ondas. Y, finalmente, el cuarto y la joya de la corona de la ciencia: la objetividad.

Francesc termina de leer cerrando, orgulloso, su cuaderno.

—Precisamente —añado—, en su reunión de octubre de 1927, estos científicos harían tambalear estos cuatro principios clásicos, uno tras otro.

—Ojalá pudiese viajar en el tiempo para presenciarlo —suspira Antonio.

Doy una patada a Francesc bajo la mesa al sospechar que está a punto de decir lo que no debe…

—¡Chis, lo de la máquina es *top secret*! —le susurro antes de que Antonio se percate de nada.

—La anécdota más conocida de esta reunión —prosigue nuestro amigo, que no se ha dado cuenta de nuestro rifirrafe— fue la discusión entre Einstein y Bohr sobre la física cuántica. Fue entonces cuando Einstein lanzó su famosa frase: «Dios no juega a los dados», a lo que Bohr le contestó: «Einstein, no le diga a Dios lo que debe hacer».

—Siempre me he preguntado a qué hacía referencia Albert con esta frase —interviene Francesc.

—A Einstein no le gustaba el rumbo que estaba tomando la nueva teoría —explica Antonio—. Le decepcionaba que se trabajase sobre probabilidades estadísticas en vez de basarse en el principio de causa y efecto.

—No comprendo a qué te refieres…

—Según la mecánica cuántica, las partículas individuales actúan «a su antojo». Realizan saltos cuánticos que jamás seremos capaces de anticipar. Sólo podemos calcular las probabilidades de cuándo y cómo lo harán. —Hago una pausa mientras el camarero sirve la comida—. Einstein no estaba satisfecho con que la teoría sólo describiese las posibilidades, en vez de la cosa en sí misma. Decía que le gustaba pensar que la Luna seguía ahí cuando él no miraba. En una carta describió su insatisfacción con estas palabras: «Me resulta intolerable la idea de que un electrón expuesto a la radiación pueda escoger a su antojo el momento y la dirección del salto. Si así resultara, finalmente preferiría haber sido un zapatero remendón, o incluso un empleado de casino, antes que físico». De ese modo, Einstein pasó de ser profeta de la teoría cuántica a hereje[8]. Murió convencido de que la física cuántica no era la última respuesta[9].

—¡Y yo moriré de hambre si no cenamos ya! —nos interrumpe Antonio sirviendo más vino—. Vuestro avión de vuelta a Barcelona no sale hasta media mañana, ¿verdad?

Francesc y yo asentimos.

—Entonces, esta noche os llevaré de juerga por Bruselas. Conozco unos bares perfectos para escuchar música y tomar unas cervezas. ¡No estoy dispuesto a que Francesc piense que en los congresos los físicos somos unos muermos aburridos!

—¡Pues claro que nos apuntamos!

Cerramos el trato con un brindis bajo las atentas miradas de los 29 de Solvay.

4
El efecto Pigmalión

> Tanto si piensas que puedes como si crees que no puedes, estás en lo cierto.
>
> HENRY FORD

LOS ÚLTIMOS AÑOS SE HA PUESTO DE MODA el fenómeno denominado «efecto Pigmalión», que hace referencia a cómo el comportamiento de un individuo se ve alterado según las expectativas que los demás tienen de éste.

Explicado de forma muy sencilla, una persona que goza de la confianza de sus superiores —tal vez incluso más allá de sus capacidades— dará un rendimiento muy por encima de lo previsible, mientras que aquélla a la que se transmite una visión negativa de sus posibilidades rendirá muy por debajo de lo que podría.

Nos comportamos según lo que se espera de nosotros, ésa sería la conclusión, y lo más sorprendente es que eso también sucede en el ámbito microscópico de la física cuántica. Con una importante diferencia: así como en psicología sabemos cómo se produce el «efecto Pigmalión», en física se desconoce el porqué.

DEL REY DE CHIPRE A ELIZA DOOLITTLE

El nombre de este efecto se tomó de la leyenda de Pigmalión, un antiguo rey de Chipre y apasionado escultor. En sus *Metamorfosis*, Ovidio cuenta que en una ocasión este monarca modeló en marfil una estatua de Galatea. El resultado fue tan extraordinario que Pigmalión se enamoró de su obra y suplicó a los dioses para que ésta cobrara vida y pudiera amarla en carne y hueso. Sus plegarias fueron atendidas y el rey tuvo la compañera que había proyectado sobre el marfil.

En 1912, Bernard Shaw se inspiró en este mito para escribir con gran éxito la obra de teatro *Pigmalión*. Medio siglo más tarde, George Cukor adaptó la pieza en la oscarizada película musical *My Fair Lady*. En esta magnífica y divertida película, el profesor Higgins apuesta con un colega lingüista que convertirá una torpe e inculta florista en una dama capaz de engañar e impresionar a la alta sociedad. Tal como le sucedió al rey de Chipre, el arrogante profesor termina enamorándose de su creación.

DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA

Vamos a poner nuestro foco en el comportamiento enigmático de la luz, que ha cautivado durante siglos a los grandes científicos de todos los tiempos.

¿Es la luz una onda o una partícula? A lo largo de la historia han surgido partidarios acérrimos de ambas posibilidades.

Ondas y partículas tienen cualidades bien distintas entre sí. Mientras las primeras, que podemos representar como una serie de sucesivas olas, se extienden en el espacio —como el sonido de la radio que se escucha por toda una casa—, las partículas o corpúsculos —podemos imaginarlas como minúsculas canicas— ocupan un lugar muy preciso y concreto en el espacio.

A finales del siglo XIX, el bando ganador se aferró a la idea de que la luz se propaga como una onda, a diferencia de la materia, que estaría constituida por pequeñas partículas.

Sin embargo, a principios del siglo XX, con el nacimiento de la física cuántica, el enigma resurgió como un tsunami que todavía hoy desafía nuestro intelecto.

EL JEROGLÍFICO DE LA LUZ

Thomas Young (1773 - 1829) fue un niño prodigio, pues cuentan que a la edad de dos años leía sin dificultad y a los catorce estudiaba ya doce idiomas a la vez, incluyendo caldeo, árabe y persa.

Cursó la carrera de medicina y se doctoró en física en 1796.

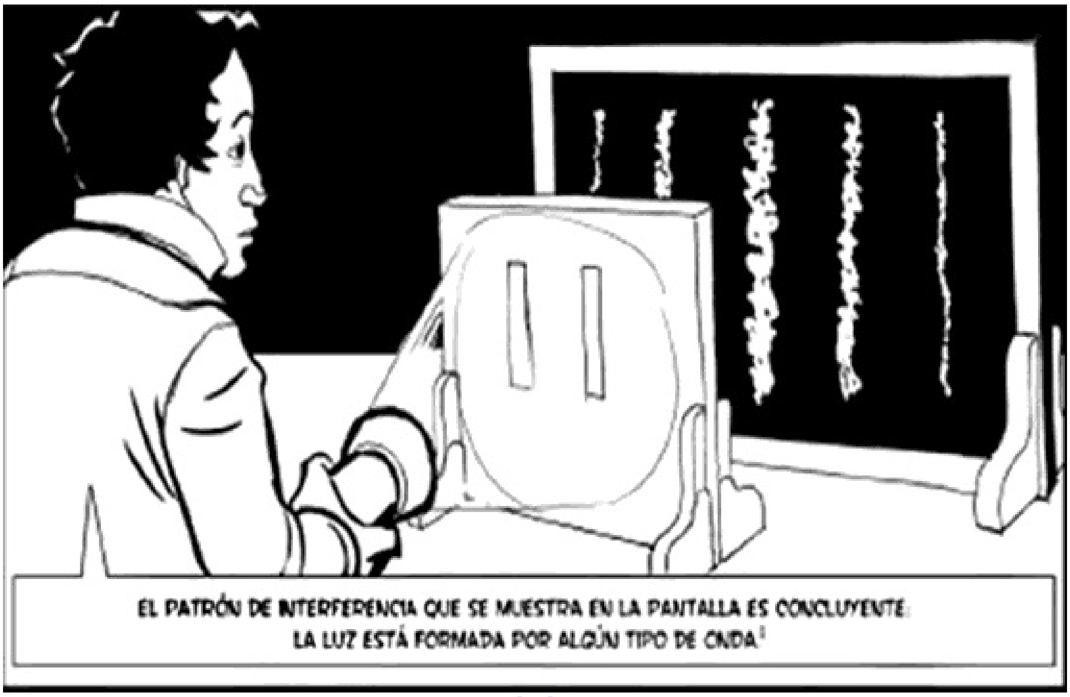


Aparte de sus grandiosas contribuciones en física, nosotros nos centraremos en su aportación al estudio de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Más allá de sus logros en la física, tal vez por su facilidad para las lenguas Young

consiguió descifrar parte de los textos de la piedra de Rosetta.

En 1801, a la edad de veintiocho años, Young realizó un experimento que pondría en jaque la creencia, heredada de Newton, de que la luz estaba formada por un haz de diminutas partículas. Éste fue bautizado como el *experimento de la doble ranura*.



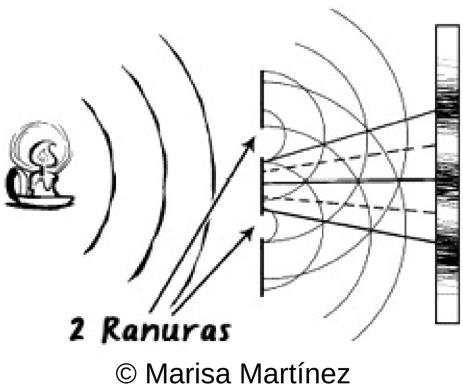
[10]

© Marisa Martínez

Veamos con más detalle en qué consiste este experimento y por qué Young pudo entonces afirmar que la luz es una onda.

Primero hagámonos una idea sencilla de lo que es una onda. Imaginad un lago cuyas aguas están en calma. Si lanzamos una piedra, podremos ver cómo se crean y se propagan en el agua pequeñas olas alrededor del punto donde ha caído el proyectil.

Ahora que tenemos una imagen en nuestra mente de lo que es una onda, volvamos al experimento de la doble ranura. En la parte izquierda de la siguiente ilustración podemos ver la fuente de luz, en este caso una vela.

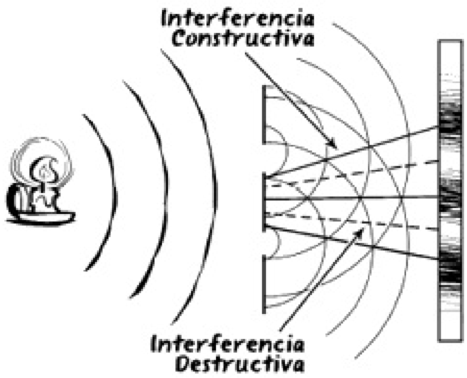


© Marisa Martínez

Hemos ilustrado las ondas de luz igual que en nuestro lago, de modo que podamos *ver* cómo se propaga la luz. Young hizo entonces pasar el haz de luz por una

pantalla que disponía de dos ranuras, como podéis ver en el dibujo. ¿Qué hace la luz cuando encuentra una rendija? Pues *colarse* por ella y seguir su camino.

Sin embargo, fijaos cómo después de esta pantalla con dos ranuras el patrón o dibujo que ilustra el paso de la luz no es igual que antes. ¿Qué ha sucedido?



© Marisa Martínez

Tras pasar por la doble ranura, se vuelven a formar más ondas, pero ahora desde dos puntos, como si tuviésemos dos fuentes de luz. Cuando las ondas que provienen de la ranura superior se encuentran con las ondas que provienen de la inferior, tendremos interferencias.

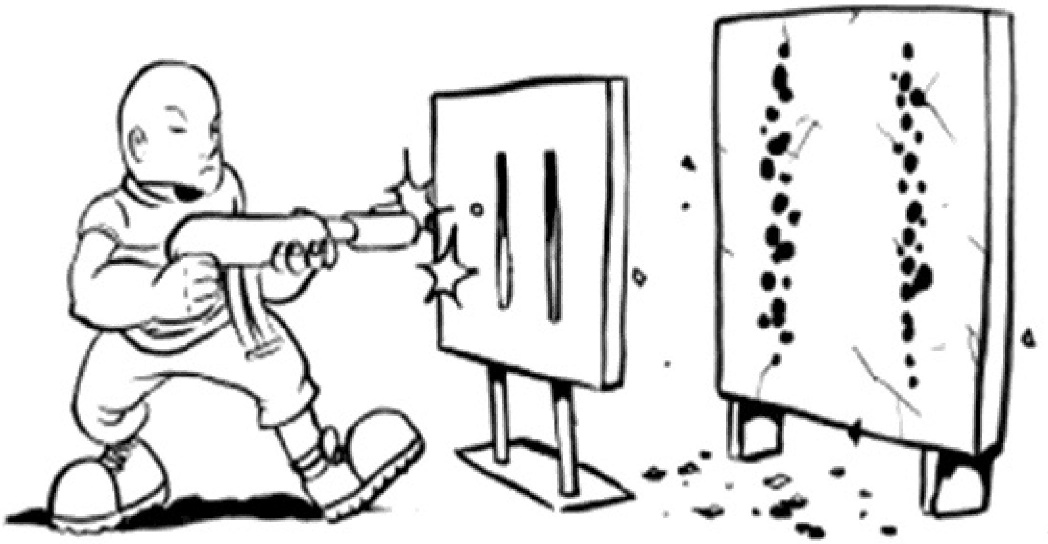
Habrá zonas donde las ondas chocarán cuando las dos se encuentran en su punto más alto (es decir, en su máximo de amplitud) y se refuerzan entre sí; el resultado será una onda todavía más alta. A esto lo llamamos en física interferencia constructiva.

Pero también habrá otros puntos donde las ondas chocarán cuando una está en su máximo (el punto más alto) y la otra en el punto más bajo (mínimo), anulándose entre sí. En esas zonas no tendremos luz, y es lo que llamaremos interferencia destructiva.

De ese modo, cuando la luz llega a la pared final nos encontraremos con lo que los físicos llamamos un patrón de interferencia, una serie de rayas verticales oscuras y brillantes a lo largo de la pared.

¿Por qué este patrón de interferencia es una señal de que la luz es una onda?

Si en vez de realizar el experimento con un haz de luz, lo hacemos disparando con una ametralladora a través de las dos ranuras, las balas las atravesarán hasta incrustarse en la pared.



© Marisa Martínez

Al final, veremos dos líneas de impactos, en vez de las múltiples franjas que obtenemos con las ondas y su patrón de interferencia.

Con este experimento, el joven Young ofreció una prueba *irrefutable* de que la luz es en realidad una onda… a pesar de que a sus contemporáneos les costó aceptarlo.

Newton tuvo sus dudas sobre la naturaleza corpuscular de la luz, pues también reparó en el fenómeno que ahora llamamos interferencia. Sin embargo, y a pesar de no estar del todo convencido, finalmente se decantó por la opción de que eran partículas.

Más seguros, en cambio, estaban los fieles newtonianos que le sucedieron. Su teoría corpuscular de la luz fue aceptada por la comunidad científica durante más de cien años.

De hecho, al presentar su teoría, Young se encontró con la resistencia de la gran mayoría de sus colegas ingleses.



© Marisa Martínez

Tras la puesta en escena de Young, no hubo que esperar mucho para que otros experimentos apoyasen la naturaleza ondulatoria de la luz. El golpe final para la teoría corpuscular llegó con la elegante formulación de Maxwell y su teoría electromagnética, que veremos más adelante en este libro.

De oficial de tercera a oficial de segunda clase

La luz es una onda. Este postulado sería aceptado hasta pasados cien años del experimento de la doble ranura, cuando, en 1905, el joven oficial de tercera de una oficina de patentes suiza publicase cuatro artículos que cambiarían drásticamente el mundo de la física.



© Marisa Martínez

Los tres primeros artículos los publicó en el mismo número de *Annalen der Physik*, una reconocida revista científica.

Con la primera contribución, que es la que ahora nos interesa, reabrió el debate

sobre la naturaleza de la luz al introducir los denominados *cuantos* de luz. Con ello impulsaría la carrera cuántica.

Con el segundo artículo, sobre el movimiento browniano, Einstein demostró de forma teórica la existencia de los átomos, dejando de ser sólo «un concepto útil» para los físicos.

En el tercero, Einstein desarrolló la teoría de la relatividad especial.

Poco más tarde, pero ese mismo año, publicaría una ampliación de este último trabajo donde desarrollaba la equivalencia entre masa y energía (probablemente la ecuación más famosa de la historia $\mathbf{E = mc^2}$[11]).



[12]

© Marisa Martínez

Albert Einstein, en su tesis doctoral, había estudiado la estadística de movimientos de los átomos en un líquido, basándose en el movimiento de un fluido por una pajita para beber. Su clara visión sobre la naturaleza atómica de la materia hizo que no le pasase por alto un artículo que Max Planck había publicado, unos años atrás, donde introducía por primera vez los llamados *cuantos de energía*[13].

Los cuantos de energía a los que se refería Einstein fueron bautizados más adelante con el nombre de fotones.



Que la luz estuviese formada por pequeñas partículas llamadas fotones fue tomado con gran incredulidad por la comunidad científica durante casi veinte años. Incluso al ganar el Premio Nobel en 1922 por su investigación sobre el efecto fotoeléctrico[14], no sería hasta un año más tarde cuando la idea de los cuantos se tomaría en serio.

Explicaremos más adelante qué sucedió en 1923.

Un año después de aquellas tres famosas publicaciones, en 1906, Albert Einstein fue ascendido de oficial de tercera a oficial de segunda clase en aquella oficina de patentes suiza. Un premio modesto para quien acababa de revolucionar la física para las generaciones venideras.

PIGMALIÓN EN EL LABORATORIO: COMPLACER AL OBSERVADOR

Que a la comunidad científica le costase tanto aceptar la idea de Einstein de que la luz está formada por pequeñas partículas —fotones— no es de extrañar.

Se había demostrado que la luz era una onda con el experimento de Young. Y Maxwell había desarrollado toda la teoría electromagnética, gracias a la cual se pudo disponer de invenciones tan útiles como la radio o el telégrafo.

Pero Einstein y los posteriores experimentos que se realizaron corroboraron que la luz se podía manifestar como un corpúsculo (o partícula).

Una de las verdades provisionales muy arraigada a principios del siglo XX era que cualquier cosa podía estar formada *o bien por ondas o bien por partículas*, pero no por ondas «y» partículas.

Volviendo entonces a la luz, ¿quién tenía razón, Young o Einstein? ¿Onda o partícula?

La respuesta es sencilla pero nada simple: *ambas visiones son correctas*, por contradictorio que nos parezca. La luz puede manifestarse como onda o como partícula indistintamente.

Y ahora viene lo más desconcertante. Si le preguntamos a la luz si es una onda —y hacemos el experimento de Young de la doble ranura—, aquélla nos contestará que sí lo es, mostrándonos un patrón de interferencia. Pero si le preguntamos si es una partícula —y hacemos el experimento del efecto fotoeléctrico—, nos contestará que, efectivamente, es una partícula.

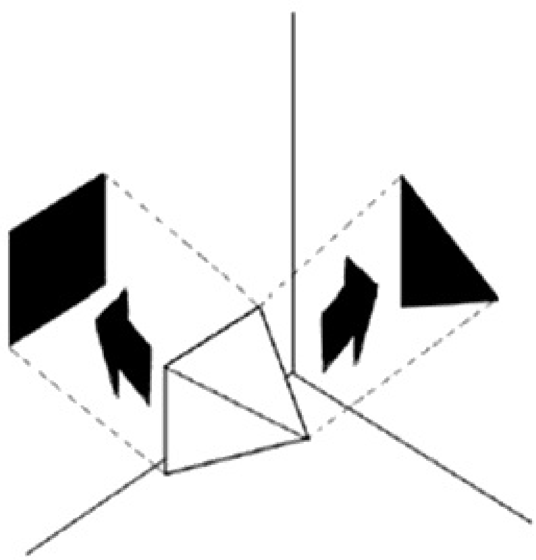


Ilustración de la dualidad onda-partícula. Dos percepciones de una misma realidad.

Que la luz se manifieste como onda o partícula depende del experimento que decidamos realizar. Es decir, los resultados que esperamos obtener condicionan que la luz se muestre como una cosa u otra.

El velo se rasgó completamente cuando, en 1924, el joven príncipe De Broglie defendería en su tesis doctoral que no sólo la luz sino también los electrones —hasta entonces considerados pequeñas bolitas de materia— podían ser ondas y partículas al mismo tiempo. Precisamente en eso ahondaremos en los dos próximos capítulos, pero antes dejemos por un momento las partículas y las ondas y volvamos al comportamiento dual de las personas en nuestro día a día a partir de las expectativas.

EL PODER DE LAS EXPECTATIVAS: ASÍ ES SI ASÍ OS PARECE

Un artículo de Álex Rovira publicado en *El País* hacía referencia a cómo puede verse alterado nuestro comportamiento a partir de las creencias que tienen los demás sobre nosotros. Las expectativas favorables que nos transmite el entorno de afectos y amistades pueden llevarnos más allá de lo que esperamos, del mismo modo que podemos rendir por debajo de nuestro nivel cuando actuamos movidos por el miedo al fracaso que otros nos han transmitido, por su falta de confianza o por su invitación a la resignación y al abandono.

El autor explica un caso que tuvo lugar en una multinacional de productos de alta tecnología. Los responsables del departamento de personal convocaron a un empleado de limpieza, en el escalafón más bajo de la jerarquía y sin el bachillerato finalizado. Le hicieron creer que era, entre los miles de trabajadores de la empresa, el más capacitado para ocupar un altísimo cargo de responsabilidad técnica en el plazo de dos años. Esta persona no sólo logró desempeñar las funciones del alto cargo prometido en menos tiempo del previsto, sino que años después siguió prosperando en la organización. La profecía se cumplió con un éxito extraordinario.

Rovira señala que un efecto Pigmalión negativo se da en las crisis económicas: cuando muchas personas están convencidas de que el sistema se hunde, efectivamente se acaba hundiendo. Incluso en el ámbito de la salud, este fenómeno se manifiesta en el conocido «efecto placebo»: hay pacientes que creen obtener del medicamento lo que precisan, cuando en realidad es sólo una pastilla de almidón sin principios activos. ¿Por qué cura entonces, en algunos casos, un simple caramelo? Porque el médico dice que así será y el paciente lo cree.

En su libro *La psicología del éxito*, Brian Tracy habla de una fascinante serie de experimentos llevados a cabo, a finales del siglo pasado, por el doctor Robert Rosenthal de la Universidad de Harvard. Tuvieron lugar en una escuela de la bahía de San Francisco para demostrar que las expectativas de los profesores sobre los alumnos tienen un efecto enorme en su capacidad de aprendizaje y sus calificaciones.

En uno de estos experimentos, explica Tracy, al principio del curso el director llamó a tres profesores y les informó de que, debido a su excelencia por encima del resto de los docentes, habían sido seleccionados como los tres mejores de toda la escuela. Por consiguiente, a cada uno se le asignarían treinta alumnos de entre los más inteligentes del centro, según unas pruebas de cociente intelectual realizadas por psicólogos. El director les comunicó que estos estudiantes excepcionales, gracias a los profesores de élite, verían mejorados sus resultados académicos entre un 20% y un 30% al final del curso.

Una condición inamovible que se impuso a los profesores fue que no revelaran nada de lo allí hablado, ni a los alumnos ni a los padres de éstos. Seguirían enseñando del mismo modo, con la sola diferencia de que estos profesores elegidos sabían que iban a tener a su cargo a treinta alumnos muy brillantes.

Los profesores estaban muy ilusionados por formar parte de la élite docente y por tener a los mejores alumnos, así que se entregaron en cuerpo y alma a sus clases. Al

terminar el curso, aquellas tres aulas no sólo eran las mejores de su centro, sino que sus resultados académicos estaban en la cima de todo su distrito escolar.

Tracy narra así cómo al final de curso se citó a los profesores y tuvieron la siguiente conversación con el equipo de investigadores, que felicitaron a los docentes por sus buenos resultados.

—Ha sido un buen año, desde luego —respondió uno de los profesores—. Esos chicos eran muy inteligentes, ponían mucho interés.

Tras cruzar unas miradas con el director de la escuela, uno de los investigadores confesó:

—Quizá deberíamos decirles la verdad: esto ha sido un experimento y, de hecho, al inicio del curso seleccionamos al azar los nombres de noventa chicos y los asignamos a sus clases. Ni siquiera sabemos cuál era su cociente de inteligencia…

—¡Qué curioso! —exclamó uno de los docentes—. ¿A qué se deberá que sus resultados hayan sido tan buenos?

A lo que un compañero añadió:

—Claro, es porque somos los mejores profesores de este colegio.

Para su sorpresa, uno de los investigadores reconoció:

—En realidad, al principio del curso pusimos los nombres de todos los profesores en un sombrero y los suyos fueron los tres primeros en salir.

Este experimento, conocido como el «doble ciego», explica cómo las expectativas lo cambian todo. Demuestra que unas expectativas elevadas por parte de los profesores hacen despertar en los alumnos una inteligencia superior a la esperada.

Como veremos en un capítulo posterior, el observador condiciona lo observado.

5
Gato de Schrödinger: se busca, vivo y muerto

—¡No puedo creerlo! —dijo Alicia.

—¿No puedes? —dijo la Reina en tono compasivo—. Inténtalo otra vez: respira hondo y cierra los ojos.

Alicia se rió.

—Es inútil intentarlo —dijo—. Uno no puede creerse cosas imposibles.

—Yo me atrevería a decir que no has pensado lo suficiente —dijo la Reina—. Cuando tenía tu edad, siempre lo hacía durante media hora cada día. ¡Caramba! A veces me he creído hasta seis cosas imposibles antes de desayunar.

LEWIS CARROLL, *Alicia a través del espejo*

De: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

Hola, Francesc:

Esta semana tengo unas conferencias en el extranjero y no podré seguir con nuestras lecciones de física.

Como sé que nos hemos quedado en un punto intrigante —hemos visto que no sólo la luz sino también la materia se puede manifestar como onda y partícula— no quería dejarte en ascuas (aunque lo que está por llegar será todavía más desconcertante… dicen que quien avisa no es traidor ;-D). He encontrado a la persona indicada para que te guíe por uno de los principios más extraordinarios del mundo cuántico: la superposición.

¿Te vendría bien estar en tu estudio mañana a las 20 h? Ella te encontrará.

Un beso,

S.

PD. Sé que a estas alturas ya tienes la mente abierta. No te asustes, es inofensiva.

El Hada Q: la mejor guía del mundo cuántico

La alarma del iPhone atrae la atención de Francesc, que se ha volcado en el trabajo de su próxima novela para mitigar la impaciencia por la llegada de su cita. Faltan cinco minutos para las ocho de la tarde, la hora en que llegará su misteriosa profesora.

«Sonia sabe cómo crear suspense con sus crípticos e-mails —piensa Francesc—. Aunque no debería hacerme ilusiones. El arquetipo de profesora de física no es precisamente una chica *super-cool*.»

Se levanta de delante del ordenador y prepara una tetera para su inminente invitada.

Mientras el agua se calienta en el hervidor, un gato grandote le ronronea entre los pies.

—Pero ¿tú qué haces aquí, gatito? —le pregunta mirándole a sus perspicaces ojos de color dorado—. ¿Por dónde has entrado?

El gato le da la espalda, moviendo la cola enérgicamente como si se quisiese burlar de él. Luego echa a correr contra la pared de la cocina.

Completamente desconcertado, Francesc observa cómo, en vez de estrellarse contra ella, el gato simplemente se desvanece.

¡Ha desaparecido!

Por unos momentos se queda tan desorientado que tarda un par de segundos en ver a la chica que tiene delante.

Es un poquito más baja que él, de tez morena y pelo negro. Sus ojos oscuros y rasgados parecen orientales. Lleva un ceñido vestido de seda y un cinturón con un extraño signo griego en la hebilla.

Ψ

Sus labios carnosos le sonríen, mostrando una dentadura perfecta. Un delicado aroma a flores silvestres le embriaga.

Es, sin duda, la chica más guapa que ha visto jamás.

Deslumbrado por aquella extraña belleza, tarda un rato en fijarse en que sostiene una delicada varita de cristal. La baja mientras le dice en tono desdeñoso:

—Cierra la boca o se te va a caer la baba.

Francesc no sabe si sentirse avergonzado o asustado por la intrusa que se acaba de colar en su casa.

—¿Cómo has entrado?

—Eso ahora no es relevante. Soy el Hada Q, Quiona para los amigos, y me envía Sonia.

—¿Cómo? ¿Un hada? Me estás tomando el pelo, ¿verdad?

—No sé si lo sabes, pero es de mala educación cuestionar a un hada de ese modo —replica antes de girarse indignada.

En ese instante quedan a la vista un par de hermosas alas.

—Tu disfraz es brutal, esas alas parecen de verdad —dice Francesc, admirado.

—¡Sin desmerecer! Conseguirlas me costó lo mío, no te las dan hasta que te doctoras.

—Hasta que te doctoras… ¿en qué?

La chica es realmente guapa, pero Francesc empieza a dudar de que esté en sus cabales. Mejor tener el teléfono a mano por si tiene que pedir ayuda…

—Veo que eres tan tonto como pareces. Pues me he doctorado como hada cuántica —declara orgullosa—. Ahora sigo trabajando como guía del mundo cuántico, pero ya me han subido de categoría.

—Ah… ya entiendo —dice sin entender nada.

«Definitivamente —piensa Francesc—, está como una chota.»

—Tenemos mucho trabajo por delante. Será mejor que nos pongamos manos a la obra, chico clásico.

Francesc se mira los tejanos a la última moda sin entender por qué le ha llamado así.

—Átate esto alrededor de los ojos —le dice el hada acercándole un pañuelo—. Todavía no estás preparado para ver lo que va a suceder. Sólo sentirás un pequeño mareo, pero no duele.

Pese a que el sentido común le pide a gritos que saque a esa loca de su casa, Francesc recuerda las últimas palabras de Sonia y decide hacer caso a su *invitada*.

Quiona le toma la mano y él siente un cosquilleo que le atraviesa todo el cuerpo, de la cabeza a los pies. Acto seguido, siente un desagradable tirón, como si alguien le empujase desde el interior del estómago. Empieza a sentir náuseas.

—¡Atómico! ¿Verdad? —Oye a su lado—. Puedes quitarte el antifaz, ya hemos llegado.

—¿Llegado? Pero si no nos hemos movido de mi estudio… —responde él mientras se desata la venda.

Ya no se encuentran en la cálida cocina de casa de Francesc.

Han aparecido sobre una ladera.

—¡Bienvenido al mundo cuántico!

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

A lo lejos se ve la cima de una montaña. Parece tan pequeña que en menos de una hora se podría llegar, de no haber un vasto laberinto de setos y muros entre ellos y aquella cumbre.

Los caminos giran y se retuercen formando estrambóticos dibujos. No hay pista que les permita intuir cuál es la dirección correcta.

—¿Ves aquel montículo? —le señala el hada—. Para salir del mundo cuántico y

volver a tu casa debemos llegar allí: el centro del laberinto.

—¿Para llegar a mi casa? ¿Quieres decir que estoy aquí atrapado? —pregunta Francesc alarmado mientras se pellizca fuerte el brazo para cerciorarse de que no está soñando.

—¿Qué esperabas? Hace poco que me doctoré, así que tengo poca práctica. Hemos podido teleportarnos cuánticamente aquí gracias a mis alas, pero antes de volver a hacerlo pasarán unos días. Se tienen que recargar… o algo así.

—¡Teleportarnos! ¿Así es como hemos llegado hasta aquí?

—Claro. ¿Cómo si no pensabas viajar al mundo cuántico en un pestañeo? Pero ahora no puedo entretenerte con detalles… Es más importante que comprendas el principio de superposición, que para eso Sonia me pidió ayuda.

Francesc se resigna a aceptar que no está soñando tras hacerse un buen moretón en el brazo.

—Va a ser complicado —suspira mi amigo al ver el laberinto—. ¡Esto es un tremendo lío!

—No te preocupes. Lo importante no es llegar sino el camino —añade sonriente Quiona—. O, en este caso, los caminos… Y pronto verás que esta frase jamás cobró tanto sentido como hoy…

Sin perder ni un segundo, nuestros protagonistas se adentran en el laberinto.

Una vez atraviesan la puerta de entrada, encuentran el primer reto que deben superar. Tan sólo un pasillo horizontal que se extiende por la izquierda hasta el infinito y por la derecha también hasta el infinito. No hay una sola esquina, ni curvas, ni nada.

—No entiendo nada —dice desconcertado Francesc a su hada—. ¿Cómo vamos a llegar al centro del laberinto si no hay una sola esquina ni giro ni nada?

—Este laberinto es un cachondo —añade Quiona como si tuviese vida propia—. Aquí nada es lo que parece. Verás, el laberinto está tras este muro…

Francesc toca la pared frente a sus narices. Es demasiado alta para que puedan saltarla y demasiado robusta para derribarla.

—Pues entonces estamos perdidos, a no ser que con esa varita te saques un truco de debajo de la manga.

En ese momento algo se les acerca corriendo. Es redondo y se mueve tan rápido que cuesta distinguirlo, como si estuviese desenfocado. Cuando llega hasta ellos, disminuye la velocidad, pero, para sorpresa de Francesc, parece que se difumine todavía más. Pensando que algo le nubla la vista, cierra con fuerza los ojos y los abre de nuevo, pero la imagen no se vuelve más nítida[15].

—¡Hola, Quiona! —grita la pequeña bola sin llegar a detenerse del todo—. Qué alegría verte…

—Igualmente digo, electrón. ¿Vas al centro del laberinto?

—Sí. ¡¡¡Quiero viajar a un nivel de energía superior!!!

Acto seguido, Francesc contempla boquiabierto cómo el electrón vuelve a coger

carrerilla y se lanza contra la pared. Después de rebotar y de darse un buen trompazo, se levanta al instante y en el segundo intento lo logra: ¡ha atravesado la pared!

—Ahora nos toca a nosotros —lo desafía Quiona con cara de pícara.

Francesc la mira perplejo. No da crédito a lo que está oyendo.

—El electrón ha hecho lo que aquí llamamos «tunelear». En el mundo cuántico a veces podemos atravesar muros. La diferencia con tu mundo es que la posibilidad de que puedas atravesar la pared de tu casa es pequeñísima. ¡Casi imposible! Deberías estrellarte contra ella durante una eternidad para conseguirlo. Es muy probable que antes te hayas molido los huesos.

Francesc arquea una ceja en señal de duda.

—Qué… ¿te atreves? —le pincha con sorna el hada—. Esta pared no es tan gruesa. Como mucho te darás unos cuantos porrazos.

Francesc acepta el reto un poco picado. Si un electrón puede «tunelear», también él ha de ser capaz de hacerlo.

Aprieta los dientes y corre contra la pared. Cruza los brazos para protegerse del choque inminente… Pero el impacto no llega.

¡Ha atravesado la pared!

—Vaya, pocos lo consiguen a la primera —le dice Quiona, que también ha tuneleado—. Será la suerte del principiante…

Frente a ellos se extiende un intrincado laberinto. Sin dudarlo, se internan por sus caminos.

—Quiona, ¿qué es el principio de superposición?

—Verás, así como en tu mundo clásico —empieza a narrar el hada— las cosas son o buenas o malas, un vaso puede estar lleno o vacío, o cuando te encuentras una bifurcación escoges entre el camino de la derecha o el de la izquierda… aquí, en el mundo cuántico, todas las posibilidades existen al mismo tiempo. Si hay dos caminos que puedas recorrer, los recorrerás los dos: no uno o el otro, sino ambos a la vez. Las cosas pueden estar en dos sitios simultáneamente. O de dos maneras…

—¡No entiendo nada! Entonces… ¿todo sucede al mismo tiempo?

—Aquí, todo lo que no está prohibido es obligatorio. Imagina que eres un futbolista que chuta un penalti al final de un Mundial. En tu mundo, marcas gol o no, ganas o pierdes. Pero en el mundo cuántico suceden ambas cosas a la vez, ganas y pierdes, porque aquí conviven todas las posibilidades.

Francesc se queda en silencio durante unos segundos, intentando digerir las palabras de Quiona. En ese momento, y para su sorpresa, reconoce al gato que apareció y desapareció de su cocina jugueteando entre ellos.

—Sé que te parece extravagante, pero todo sigue unas reglas, aunque resulten extrañas para alguien de tu mundo —prosigue el hada mientras su nuevo acompañante vuelve a desvanecerse sin más—. Puedes entenderlo como si fueran universos paralelos. He leído un montón de cómics humanos y en muchos hablan de ellos. ¿Ves esta bifurcación que tenemos delante?

Frente a Quiona y Francesc se abren dos caminos. Están en el punto justo para escoger la ruta que deben seguir. El hada continúa con su explicación:

—Es como si en un universo escogiésemos recorrer el de la derecha y en otro universo paralelo optásemos por el de la izquierda. Ambos universos se desdoblarían. Lo que sucede en la superposición es que esos dos universos se mezclan. Ambas cosas ocurren al mismo tiempo: los elegimos los dos al mismo tiempo.

—Eso es un chollo para los indecisos.

—No creas, el principio de superposición funciona hasta que alguien observa el objeto superpuesto. El simple hecho de mirar neutraliza la superposición. A eso lo llamamos «colapso de la superposición». Un humano no puede ver dos posibilidades a la vez.

—Creo que me he vuelto a perder.

—Lo mejor es que lo experimentes —afirma Quiona mientras levanta su varita.

Un poderoso resplandor surge de ésta y en un abrir y cerrar de ojos Francesc se ha desdoblado.

Quiona toma de la mano a uno de los Francescs y se despide del otro dándole la siguiente instrucción:

—Yo acompañaré a este Francesc por el camino de la derecha, tú irás acompañado del gato de Schrödinger por el de la izquierda.

Al lado del segundo Francesc ha aparecido de nuevo el misterioso gato.

EL CAMINO DE LA DERECHA

Acompañado por Quiona, el primer Francesc emprende la marcha por su camino.

—Todavía no tengo muy claro qué diablos está pasando en este mundo. ¡Esto es de locos! —protesta Francesc.

—No te preocupes, chico clásico, es normal que te resulte extraño —le consuela el hada—. Y tengo que reconocerte que no lo haces del todo mal. ¡Tu tuneleada ha sido atómica!

—Vaya, muchas gracias, Quiona… Pero lo cierto es que sigo sin comprender esto de la superposición y cómo se colapsa.

—Pongamos un ejemplo —le dice su guía mientras alza la varita y materializa de la nada un cubilete y un dado; luego añade—: ¿Has jugado alguna vez a los dados?

Quiona agita el cubilete con el dado y lo coloca boca abajo en el suelo. Tras unos segundos, para ponerle más emoción al juego, levanta el cubilete y deja al descubierto el dado marcando un seis.

—Muy bien —sentencia el hada—. ¿Qué ha ocurrido aquí?

Francesc no termina de comprender qué pretende Quiona y se encoge de hombros.

—¡Veo que lo tengo que hacer todo yo! —refunfuña el hada—. Según tu visión

clásica y tus ideas preconcebidas, cuando el cubilete estaba boca abajo sobre el suelo, antes de descubrirlo, el dado marcaba un seis. Simplemente desconocías esa información hasta que lo has podido ver.

—Te sigo, sí. Eso es lo que ha pasado.

—Pues aquí, en el mundo cuántico, las reglas del juego son distintas. —Quiona vuelve a remover el cubilete y ponerlo boca abajo en el suelo—. Ahora mismo, antes de levantar el cubilete y descubrirlo, el dado está marcando todas las caras a la vez: un uno, un dos, un tres, un cuatro, un cinco y un seis… Todas las posibilidades coexisten simultáneamente.

En cuanto termina la frase, levanta el cubilete y Francesc ve de nuevo que el dado marca un seis. Quiona prosigue con su explicación:

—En el instante en que observamos el dado, al destapar el cubilete, es cuando una de las opciones se define. En este caso, de todas las posibilidades ha sobrevivido la opción del seis. Una partícula cuántica, en una bifurcación, puede pasar por los dos caminos a la vez. Pero en tu mundo clásico, si sacas la cabeza para ver cómo pasa por los dos caminos simultáneamente… por el simple hecho de observar la partícula decidirá pasar tan sólo por uno de los dos.

—Y eso mismo es lo que está sucediendo ahora conmigo: un Francesc ha tomado un camino en la bifurcación y el otro está aquí contigo. Pero si un humano no puede ver la superposición, ¿cómo es que yo estoy viviendo una?

—Es la ventaja de estar con un hada cuántica —dice ella mientras le guiña un ojo —. Fantástico, hemos llegado al centro. Vas a tener que colapsar al otro Francesc aquí.

Quiona levanta su varita y vuelve a aparecer un brillante resplandor.

EL CAMINO DE LA IZQUIERDA

Acompañado por el misterioso gato, el segundo Francesc emprende la marcha por su camino.

—Todavía no tengo muy claro qué diablos está pasando en este mundo. ¡Esto es de locos! —protesta Francesc.

—Entiendo que estés algo confundido —le contesta el gato—. Pero recuerda el viejo dicho humano: «Si preguntas, parecerás tonto un día; si no preguntas, serás tonto toda tu vida». No desperdicies nunca una oportunidad para aprender.

—Lo que faltaba —se sorprende Francesc—, aquí incluso los gatos hablan, y además dan lecciones… ¿Tú también eres experto en superposición?

—Pues soy el mejor ejemplo a cuatro patas. Aquí soy muy popular. —Añade señalando con el hocico hacia una de las paredes—. Fíjate en este póster colgado en el muro.

Sobre la imagen de un gato fantasma, se puede leer con letras propias del *Far*

West:



—Pero… ¿por qué te buscan? —se extrañó Francesc—. No tienes pinta de ser peligroso. ¿Qué has hecho? Además, hay un error de imprenta: debería poner VIVO O MUERTO.

—Te equivocas, ahí está la gracia: yo estoy vivo y muerto a la vez. Voy a contarte mi historia… Yo soy el gato de Schrödinger. Hace tiempo, para hacer un experimento cuántico me encerraron en una caja opaca sin un solo agujero por el que se me pudiese ver. En la caja habían puesto un frasco con gas venenoso que iba conectado a un dispositivo que permitía romper el frasco.

—¡Pobre! ¿Y liberó alguien el gas venenoso?

—La cuestión es que el dispositivo se activaba con una partícula cuántica, y el autor del experimento la dejó escapar. El mecanismo era el siguiente: había un momento en que la partícula podía pasar por dos caminos. Si pasaba por el camino de la izquierda, el mecanismo se activaba y el frasco se rompía.

—Es decir, te mataba.

—¡Exacto! Pero si la partícula pasaba por el camino de la derecha, el mecanismo no se activaba.

—Seguías vivo.

—¿Entiendes, entonces, el problema que eso causó?

—¿Qué problema? ¿Pudiste denunciarles a una asociación protectora de animales?

—Vaya, pues no se me ocurrió… Pero volviendo al caso, como se trataba de una partícula cuántica, no pasó por la izquierda *o* por la derecha, sino que se produjo una superposición: pasó por la izquierda *y* por la derecha al mismo tiempo.

—¡Igual que Quiona ha hecho con nosotros! Pero, entonces, ¿qué sucedió contigo?

—Al pasar por la izquierda y por la derecha al mismo tiempo, el dispositivo se activó y no se activó. Por lo tanto, yo quedé vivo y muerto a la vez. Es decir, me hallo en un estado de superposición. Pero si alguien hubiera abierto la caja, me habría encontrado vivo o muerto, pues los humanos no pueden ver la superposición. Al abrir la caja, sólo quedaría una de las dos posibilidades. Se habría colapsado la superposición. En vuestro mundo los gatos no pueden estar vivos y muertos al mismo tiempo, pero en el nuestro sí.

Francesc trató de imaginar aquel experimento insólito y preguntó:

—¿Y qué pasó? ¿Lograste sobrevivir?

—¡No es tan fácil! Los científicos estaban tan asombrados con el experimento que nadie se acordó de abrir la caja. Así que aquí estoy yo… Me he quedado dentro del mundo cuántico en una superposición: estoy vivo y muerto para siempre.

—Bueno, eso no está mal. ¡Así eres inmortal!

—Inmortal y siempre muerto. Las dos cosas a la vez.

—¡Es raro!

—Recuerda que las cosas aquí no son blancas o negras, sino blancas *y* negras.

En ese instante, Francesc oye a lo lejos unas palabras de Quiona: «Fantástico, hemos llegado al centro. Vas a tener que colapsar al otro Francesc aquí».

De repente, nota cómo se desvanece el escenario que le rodea. Un instante después aparece en compañía de Quiona con el recuerdo de haber jugado con ella a los dados.

EL CENTRO DEL LABERINTO

Francesc se siente ligeramente desorientado y tarda unos segundos en situarse.

—¿Qué tal te has colapsado? —le pregunta su hada.

—Bien… creo —contesta Francesc no del todo convencido—. Estoy recopilando la información que me habéis dado tú y el gato de Schrödinger.

Nuestros protagonistas se encuentran en medio de una pequeña plaza. Un espejo grande ovalado destaca en el centro de ésta. Para sorpresa de Francesc, en vez de su reflejo, el espejo muestra la imagen de su cocina, donde puede ver a Sonia calentar agua en la tetera.

—Ha llegado el momento de que vuelvas a tu mundo —le distrae Quiona—. Aprovecha ahora, si tienes alguna duda que aclarar.

—Si empezase no acabaría… Pero tengo una pregunta respecto al juego con los dados que me has contado.

—Dispara —dice Quiona mientras hace aparecer de nuevo el cubilete y el dado.

—Dices que aquí, en el mundo cuántico, antes de levantar el cubilete y mostrar el dado, éste está marcando todas las caras simultáneamente…

—Exacto, todas las posibilidades están coexistiendo a la vez —confirma el hada.

—Pues verás, no es por ofender, ni por contradecirte… pero ¿cómo sé que lo que dices es verdad y no una ida de olla? Podría ser perfectamente que el dado esté marcando ya un seis y tú te inventes eso de que está marcando todas las caras.

—Aunque me ofende que no tengas fe ciega en mí —se ríe Quiona—, haces bien en ser escéptico. Tienes una mente mucho más científica de lo que crees, ¡eso es bueno! Verás —prosigue el hada—, existe una forma de medir en el laboratorio eso de que el dado esté mostrando todas las caras en superposición: el experimento de la doble ranura.

—Sonia me contó algo sobre ese experimento de Young.

—Cierto, pero ahora debes pedirle a ella que te cuente la versión cuántica del mismo. Este experimento te mostrará cómo puedes «ver» las consecuencias de que el dado esté marcando todas las caras a la vez… Por desgracia, a nosotros no nos queda más tiempo. Aquí se acaba tu aventura en el mundo cuántico, amigo.

—Volveremos a vernos, ¿no? —se despide de su hada con tristeza mientras le da un abrazo espontáneo.

—Mucho antes de lo que imaginas.

Francesc se acerca al espejo y, sin dudarlo, lo atraviesa para volver a su mundo.

OTRO DESAYUNO CON PARTÍCULAS

Sonia está sentada a la mesa de la cocina con dos tazas de té humeante en sus manos.

—¿Qué tal te ha ido con Quiona? —le pregunta a un reaparecido Francesc mientras le ofrece una de las infusiones.

—¡Es el viaje más atómico que he hecho en mi vida! Todavía dudo de si lo habré soñado todo…

—Quiona es un hada encantadora —repone ella riendo.

—Por cierto, ¿también tú sabes teleportarte, Sonia? —pregunta Francesc con toda normalidad.

—No, claro que no… ¿Por qué lo dices?

—Entonces, ¿cómo te has colado en mi casa?

—Llamé varias veces, pero no contestabas —le dice mientras le acerca una silla —. Usé la llave que guardas bajo el felpudo. Por cierto, mal escondite, si me permites el consejo… Vengo directa del aeropuerto. Si te parece, te invito a desayunar y me cuentas lo que has aprendido.

—¿Desayunar? —replica extrañado Francesc—. Pero si sólo he estado un par de horas fuera…

—El tiempo no transcurre igual en el mundo cuántico. Son las ocho de la mañana.

—¡Vaya! Hoy tendrás que dejar que te invite yo al desayuno con partículas, pero antes me gustaría que le dieses algo a Quiona de mi parte.

Francesc se dirige a su ordenador y, tras buscar un rato entre sus documentos,

imprime una hoja.

—Es una fábula que me gustaría regalar a mi hada…

LA MONEDA Y EL DESTINO

Un relato tradicional zen habla de cómo podemos enfrentarnos a situaciones adversas en las que todas las posibilidades están abiertas.

Cuenta que durante una batalla trascendental, un general japonés se decidió a atacar. Aunque su ejército era superado de forma considerable en número, estaba totalmente seguro de que vencerían, pero sus hombres albergaban serias dudas.

De camino a la batalla, se detuvieron en un santuario religioso. Después de rezar con sus hombres, el general sacó una moneda y dijo bien alto:

—Ahora lanzaré esta moneda. Si es cara, venceremos. Si es cruz, perderemos. El destino se revelará ahora mismo.

Lanzó la moneda al aire y todos la miraron con ansiedad mientras caía. Salió cara.

Los soldados estaban tan rebosantes de alegría y confianza que atacaron vigorosamente al enemigo y salieron victoriosos.

Después de la batalla, un teniente le comentó al general:

—Nadie puede cambiar el destino.

—Absolutamente correcto —respondió el general mientras mostraba al teniente la moneda, la cual tenía cara en ambos lados.

La enseñanza de esta fábula es clara. Así como en el mundo cuántico no podemos escoger qué posibilidad *colapsará*, en los asuntos humanos la actitud está por encima de la aptitud, con lo que somos pilotos de nuestro destino.

6
Las sombras de la realidad

> La necesidad de encontrar una salida de este atolladero no debería verse frenada por el miedo de suscitar las burlas de los sabios racionalistas.
>
> ERWIN SCHRÖDINGER

EL PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN NOS RESULTA DESCONCERTANTE. ¿Acaso no se nos escapa de la imaginación que una canica *cuántica* pueda recorrer dos caminos distintos a la vez?

Quiona, en el mundo cuántico, nos mostraba la superposición jugando con un cubilete y un dado[16]. Desafiaba nuestra lógica al contarnos cómo antes de levantar el cubilete y descubrir el dado todos los resultados coexistían: un uno, un dos, un tres, un cuatro, un cinco y un seis, todos a la vez. Sólo al apartar el cubilete que cubre el dado, lo observábamos y las probabilidades colapsaban en una sola opción: un seis, por ejemplo.

Francesc le planteaba entonces una pregunta lícita:

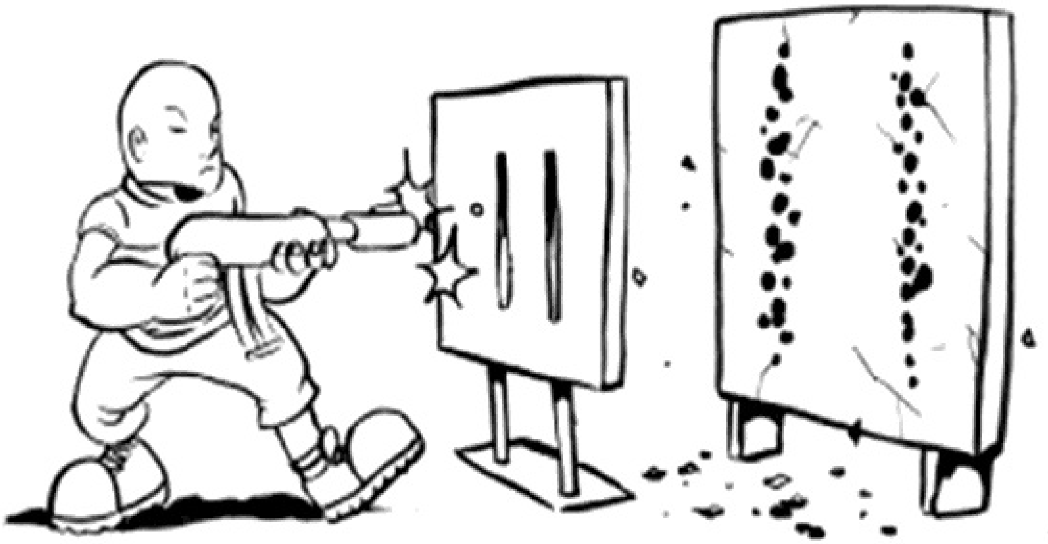
—¿Por qué debería creerte? El sentido común me dice que el dado ya marcaba un seis antes de que lo destapases. Simplemente desconocíamos la información, pues hasta que levantaste el cubilete, no lo vimos. ¡Pero el seis ya estaba allí!

Antes de despedirse, el hada cuántica le advirtió de la existencia de un experimento que podíamos realizar en nuestro mundo. Un modo de comprobar, en el laboratorio, las consecuencias de que el dado esté en superposición —ofreciendo todas las caras al mismo tiempo—. Éste es el famoso experimento de la doble ranura *versión cuántica*.

EL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RANURA «VERSIÓN CUÁNTICA»

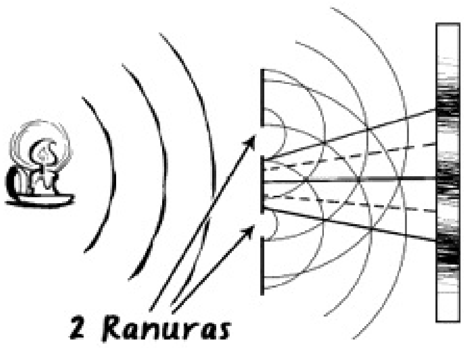
Con el experimento clásico de la doble ranura entendimos la diferencia de comportamiento entre ondas y partículas, también llamadas corpúsculos.

Cuando hacemos atravesar las partículas (por ejemplo, las balas de una metralleta) por la placa con una doble ranura, obtenemos un patrón muy sencillo: dos franjas que nos ilustran el lugar donde se han incrustado las balas.



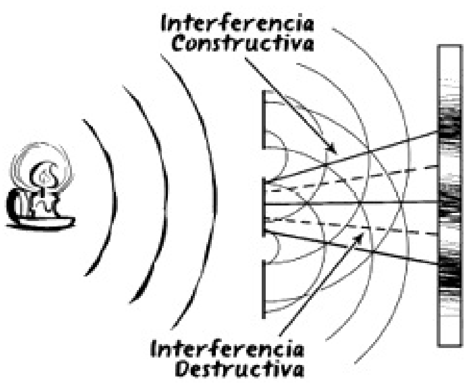
© Marisa Martínez

Obtendremos un resultado muy diferente cuando lo que hacemos pasar por la doble ranura no son partículas sino ondas: en la pared final se dibuja lo que conocemos como patrón de interferencia.



© Marisa Martínez

En los puntos de la pared donde las ondas interfieren constructivamente, como vimos en el capítulo 4, tendremos un máximo de intensidad de luz, y en los que lo hacen destructivamente obtendremos oscuridad. Este patrón se repite y extiende a lo largo de toda la pared.



© Marisa Martínez

Muy bien, de momento… Pero ¿qué sucede si nos adentramos en el diminuto mundo cuántico?

Realizaremos el mismo experimento, pero ahora lo que dispararemos no serán balas sino haces de electrones.

Partimos de la base de que los electrones, pequeños pedacitos de materia, son como minúsculas canicas. Lo que esperamos encontrar en la pared es un patrón igual al formado por las balas: dos franjas verticales donde los electrones se habrán quedado *incrustados*.

Pero los científicos obtuvieron un resultado inesperado. En la pared final hallaron un patrón de interferencia: múltiples franjas a lo largo de la pared. El mismo resultado que se observa con las ondas. ¿Cómo es posible?

Los físicos pensaron que quizá los electrones chocaban entre sí de algún modo concreto para generar este patrón tan reconocible de interferencia. Para descartar que ése fuera el motivo, decidieron lanzar los electrones de uno en uno y así evitar que chocasen entre ellos.

Pasados unos minutos, cuando ya habían lanzado suficientes electrones, observaron que en la pared se había reproducido exactamente el mismo patrón de interferencia que en el caso anterior.

Ese resultado les dejó boquiabiertos, pues la única explicación al fenómeno era de locos: cada electrón, al llegar a la doble ranura, adquiría propiedad de onda, pasaba por ambas ranuras al mismo tiempo (¡como si se desdoblase!), interfería después consigo mismo y proseguía su camino hasta impactar en la pared.

Eso explicaría que encontremos las franjas propias de un patrón de interferencia.

Todavía desconcertados, decidieron colocar un dispositivo para presenciar cómo diablos se las arreglaba esta diminuta partícula para pasar por ambas ranuras simultáneamente[17].

Fue entonces cuando el mundo cuántico dio su golpe maestro. El simple hecho de observar o medir el electrón provocó que éste no pasase por ambas ranuras, sino que lo hizo sólo por una de ellas. Tal como esperaríamos que lo hiciese una bala. Y puesto que la naturaleza sigue unas leyes —aunque no siempre las comprendamos—, en la pared aparecieron dos franjas verticales, no un patrón de interferencia.

El resultado había cambiado drásticamente.

No obstante, si escogemos no colocar ningún dispositivo de medición, el electrón pasará por ambas, comportándose como una onda.

Todas las posibilidades coexisten. Del mismo modo que coexistían las seis caras en el dado cuántico de Quiona. La forma de detectar la superposición en nuestro experimento es este famoso patrón de interferencia en la pared.

Sin embargo, si elegimos colocar un dispositivo de medición para ver por qué ranura pasa el electrón, éste escogerá sólo una de las posibilidades: o la izquierda o la derecha, pero no las dos. El electrón se «colapsa» en una de las opciones —expresándolo con precisión: la función de onda del electrón colapsa en una de las

opciones—. De igual modo que, cuando Quiona levantaba el cubilete y observábamos el dado, éste decidía mostrar una sola de sus caras.

El simple hecho de medir u observar cambia definitivamente el comportamiento del electrón y, en consecuencia, el patrón de la pared.

Hay tres preguntas típicas que surgen al escuchar la narración de este experimento:

1. ¿Cómo diablos la naturaleza se comporta de un modo tan extraño?

Nuestra recomendación en este punto es hacerle caso a Feynman: «No os quedéis atrapados en esta pregunta, pues entraréis en un callejón sin salida del que nadie, nadie, ha logrado escapar hasta ahora».

2. ¿Podemos, entonces, crear la realidad a nuestro antojo?, ¿forzar a la naturaleza a cumplir nuestros deseos?

En ocasiones hemos visto utilizar este experimento como demostración científica de que somos creadores y responsables de diseñar la *realidad* a nuestro antojo.

Se comete aquí un error por omisión. Es cierto que en este experimento vemos que la *observación* afecta a *cómo* se comportará el electrón. Al decidir si colocamos o no los detectores de medición, decidimos qué propiedad se convierte en realidad: o bien pasará por ambas ranuras (onda y patrón de interferencia), o bien por una sola (partícula y dos franjas verticales).

Pero no podemos eludir nuestra gran limitación: aunque optemos por observar la trayectoria del electrón y que éste se comporte como partícula, no atravesará a nuestro antojo la ranura que deseemos. Pasará por una de las dos, sí, pero aleatoriamente.

Totalmente al azar.

La elección de la ranura es impredecible e incontrolable (por muchas ganas que tenga el observador de que pase por una en concreto).

Del mismo modo, si escogemos no observar la trayectoria del electrón, tampoco estaremos influenciando en modo alguno el punto específico en el que cada electrón particular impactará sobre las zonas permitidas por el patrón de interferencia.

Ambos resultados son completamente aleatorios.

Este matiz se convierte en un cañonazo cuya diana es uno de los postulados de la física newtoniana: el determinismo.

La física cuántica es no-determinista.

Esta aleatoriedad molestaba a Einstein. Él creía que debía de haber un motivo determinista para que el electrón escogiese un camino u otro (de ahí la famosa frase «Dios no juega a los dados»).

MATCH POINT - AZAR VERSUS DESTINO

Esta película de Woody Allen empieza con la voz en *off* del protagonista, que dice:

> El hombre que afirmó que «preferiría ser afortunado que bueno» tenía una profunda perspectiva de la vida. La gente teme reconocer qué parte tan grande de la vida depende de la suerte. Da miedo pensar que sea tanto sobre lo que no tenemos control. Hay momentos en un partido de tenis en el que la pelota alcanza a pegar en la red, por una décima de segundo, puede seguir su trayectoria o bien caer hacia atrás. Con un poco de suerte sigue su trayectoria y ganas. O tal vez no y pierdes.

Esta trama nos plantea el papel del azar en la vida del protagonista. El azar le hace perder un partido crucial que le convierte en profesor de tenis en un club de la alta sociedad. El mismo azar le lleva a las altas esferas de la aristocracia hasta casarse con una heredera millonaria, pasando así de la pobreza al lujo. Es también un golpe de suerte el que evita que su horrendo crimen sea descubierto.

Pero en esta presentación de los hechos, el protagonista parece protegerse bajo el paraguas del azar para no asumir la responsabilidad de sus decisiones.

Pero no era la aleatoriedad de la naturaleza lo que más incomodaba a Einstein, sino algo más profundo que enlaza con la tercera pregunta que planteamos aquí:

3. ¿Niega la cuántica una realidad física, o existe la realidad pero no podemos llegar a ella?

Albert Einstein afirmaba: «Una partícula debe tener una realidad separada e independiente de las mediciones. Esto es, un electrón tiene órbita, posición y otras propiedades, aun cuando no esté siendo medido. Me gusta pensar que la Luna sigue ahí cuando no la estoy mirando».

La interpretación más extendida de la mecánica cuántica, sin embargo, sostiene que las propiedades de las partículas fundamentales no están definidas cuando no las observamos.

Estamos acostumbrados a mirar un objeto y asumir que sigue ahí cuando dejamos de mirarlo. Mantendrá una posición, un color, una textura, etcétera. Es decir, posee propiedades bien definidas aunque no lo mire nadie.

Pero a nivel cuántico las cosas no funcionan así. Hasta que no lo observemos no podremos decir que el electrón está realmente en una posición determinada[18].

¿Qué nos intenta decir la naturaleza con todo esto?

La mecánica cuántica no nos da una explicación, pero sí predice lo que sucederá (gracias a ello podemos desarrollar la tecnología actual). Quizá la física cuántica no sea la última respuesta… Einstein así lo creía y, precisamente en su búsqueda de un mundo real, se dio de bruces contra otro fenómeno extravagante del mundo cuántico: el entrelazamiento[19].

EL MUSEO DE LA REALIDAD

En su mito de la caverna, Platón nos describe lo que entendemos por realidad como sombras de una entidad superior, el mundo de las ideas. Esa visión metafísica de la realidad está presente en religiones como el cristianismo, que también establece un reino superior que inspira el terrenal a través de Dios y sus profetas.

Con su «cogito ergo sum» (pienso luego existo), en el siglo XVII Descartes presenta una importante novedad: el solo hecho de poder pensar la realidad es una realidad en sí misma, sin necesidad de un ente externo que nos justifique, un principio que dio el pistoletazo de salida a la filosofía moderna.

Ya en el siglo XVIII, Hume profundiza sobre esta idea para llegar a la conclusión de que no hay más realidad que la que percibimos a través de los sentidos, que son la única fuente válida de conocimiento. Por lo tanto, tal como postula el positivismo, no tenemos ninguna seguridad de la existencia de una silla cuando no la estamos mirando.

También Kant trabajará sobre la misma visión al vincular la realidad a la experiencia humana, aunque acepta la más neblinosa realidad del origen del universo como algo que puede ser pensado pero no conocido.

Ya en el siglo XX, Einstein inaugura con la relatividad un nuevo concepto de la realidad. Algo que hasta entonces había sido inmutable, como el tiempo, existe y se comporta de diferente manera según el lugar y el estado del observador.

Para acabar de dinamitar nuestro concepto de la realidad, ésta es transmutada por la física cuántica por las *posibilidades*. No existe una sola realidad, sino muchas posibles, que además pueden convivir en el tiempo y el espacio, y que colapsan (se determinan) ante la presencia del observador, que, sin embargo, no puede elegir el resultado.

¿Qué es la realidad, entonces?

Vamos a seguir descubriéndolo en nuestro viaje.

LA VERDAD HABITA EN LAS PROFUNDIDADES

En *Cuestiones cuánticas*, de Ken Wilber, una antología de escritos filosóficos de físicos famosos, hay un artículo de Heisenberg, el autor del principio de incertidumbre que fue fundamental en la física moderna.

Bajo el título «La verdad habita en las profundidades», quien fuera Premio Nobel en 1932 recuerda un encuentro en Copenhague veinte años después con Niels Bohr y Wolfgang Pauli. La reunión de estos «cultivadores de la física atómica», como los llama Heisenberg, tenía como objetivo tratar sobre la construcción de un acelerador de partículas europeo. Lo que más adelante sería el CERN.

Sin embargo, estos tres físicos, que ya habían coincidido en el célebre simposio de Solvay, aprovecharon para filosofar sobre la realidad y los límites de la ciencia. Los tres amigos se preguntaban si las teorías cuánticas formuladas un cuarto de siglo atrás seguían vigentes, cuando Niels Bohr recordó otro encuentro de filósofos que se había producido en la misma capital danesa.

La mayoría de los invitados eran positivistas —es decir, se aferraban sólo a hechos y mediciones demostrables— y pidieron a Bohr que les hablara de la teoría cuántica. El físico danés recordaba lo siguiente: «Al terminar mi conferencia, nadie planteó ninguna objeción ni me dirigió ningún tipo de pregunta embarazosa, pero debo decir que este mismo hecho fue para mí fuente de un tremendo desencanto. Porque si alguien no se siente profundamente extrañado al entrar en contacto por vez primera con la teoría cuántica, la única explicación es que no la ha entendido».

Esta anécdota encendió un profundo debate entre los tres acerca de los límites de la física e incluso de la metafísica y del lenguaje mismo que usamos para describir la realidad.

Niels Bohr citó entonces un poema de Schiller que reza: «Sólo una mente plena es clara, y la verdad habita en las profundidades». Ese abismo del que poco o nada sabemos no sólo afecta a la ciencia, sino también al lenguaje mismo.

Una de las razones por las que los positivistas rechazaban las visiones de los filósofos anteriores a la metodología científica era que intentaban abrazar con su lenguaje conceptos que necesitan una precisión enorme.

Sobre esto, Heisenberg consideraba que era absurdo despreciar los problemas e ideas planteados por los filósofos antiguos sólo porque no pudieran expresarse en un lenguaje más preciso, así como podemos extraer visiones valiosas de las parábolas a través de las cuales las religiones explican el universo.

En palabras del propio Heisenberg: «La solución de los positivistas es muy simple: debemos dividir el mundo en dos partes, aquello que podemos decir de él con toda claridad, y el resto, con respecto a lo cual lo mejor que podemos hacer es no decir nada. Pero ¿puede acaso nadie concebir una filosofía más inútil, cuando vemos que lo que podemos afirmar es poco menos que nada? Si tuviéramos que dejar de lado todo lo que no está claro, muy probablemente nos veríamos reducidos a una serie de tautologías triviales desprovistas completamente de interés».

Dicho de otro modo, si la ciencia se hubiera limitado a indagar en las verdades

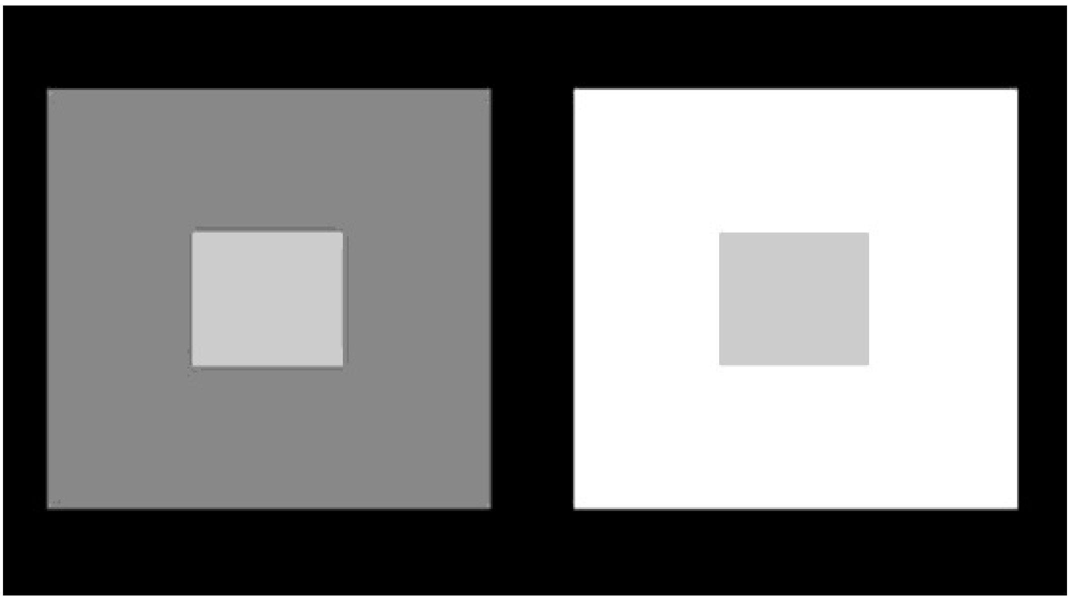
evidentes y totalmente demostradas, la física cuántica no existiría, así como la mayoría de los avances científicos que nos facilitan la vida. Como decía Julio Verne: «Todo lo que un ser humano pueda imaginar, otro lo acabará haciendo realidad».

¿VEMOS LO QUE CREEMOS?

El budismo afirma que al ver la realidad la teñimos de nosotros mismos. Eso es así porque nuestra percepción interactúa con lo que creemos que es el mundo exterior. Dicho de otro modo, no se puede separar con un bisturí lo observado del observador.

Esto es algo que hemos planteado en el experimento de la doble rendija.

En una conferencia pronunciada por Beau Lotto para Ted Talks, este investigador habla sobre las ilusiones ópticas, que revelan mucho más de lo que creemos sobre nuestra manera de percibir el mundo: «Dos cuadrados de color gris idéntico ya no son iguales si los sobreponemos encima de fondos iluminados de forma distinta. Si, por ejemplo, uno lo ponemos sobre fondo negro, parecerá más claro que otro sobre fondo blanco. Lo importante que hay que entender aquí es que la diferencia no está en el tono que hemos usado para el fondo, sino en la información cerebral que tenemos guardada de nuestro propio pasado y que es la que nos transmite esta falsa sensación».



© Marisa Martínez

Nuestro cerebro no ve el mundo tal y como es, sino tal y como le fue útil en el pasado y, por lo tanto, de la manera más apropiada para nuestra supervivencia.

Desde un enfoque neurológico, la percepción es un punto de encuentro entre el observador y lo observado. No podemos hablar de un «observador externo» porque siempre hay algún grado de interacción entre quien mira y el objeto mirado.

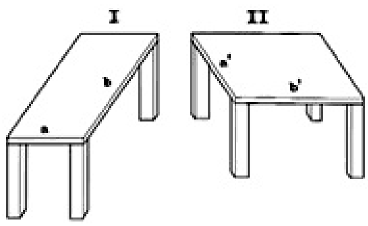
Haciendo un símil en el mundo de la antropología, el trabajo de campo en medio

de una tribu nunca será objetivo ni completamente fiable, ya que con su presencia el antropólogo altera el orden natural de la vida que está observando.

Esto es una metáfora de lo que sucede con las observaciones de la cuántica, donde el observador —o la medición— parece tener un papel relevante en los resultados.

Los estudios que se llevan a cabo sobre la percepción, como los publicados por Rainer Rosenzweig en *Mente y Cerebro*, han demostrado que estamos sujetos a ilusiones que nos pueden llevar a conclusiones equivocadas: «Nuestro sistema visual está acostumbrado a la distorsión causada por la perspectiva, que compensa de forma activa. Durante el procesamiento de información visual, el cerebro contrarresta la deformación sin que podamos influir en ello».

Tenemos una prueba en el experimento de Roger Newland Shepard, de la Universidad de Stanford. Fijémonos en la ilustración de aquí abajo. Al observar estas dos mesas en las que la perspectiva de las patas está mal dibujada se crea el falso efecto de que son diferentes. Pero si las medimos, nos sorprenderemos al comprobar que son idénticas, tanto de largo como de ancho.



© Marisa Martínez

Rosenzweig añade que el ser humano actual no se encuentra indefenso ante las ilusiones ópticas, ya que siempre puede verificar las percepciones a través de experimentos. Con los instrumentos adecuados, una simple medición puede corregir una falsa impresión: «El razonamiento crítico aporta a cada individuo aquello que la metodología científica ofrece a la humanidad: una capacidad de discernimiento más allá de la simple percepción visual».

Dado que muchos principios de la cuántica superan los límites de nuestro razonamiento habitual, se trata de aceptar la realidad de lo diminuto sin llevar los prejuicios de la realidad macroscópica.

Sin embargo, que nuestra percepción sea subjetiva no significa que podamos manipularla a nuestro gusto. No podemos elegir lo que deseamos ver, contrariamente a la generalizada opinión de que «vemos lo que creemos», afirman V. S. y D. R. Ramachandran, que apuntan lo siguiente: «La percepción se propone computar rápidamente respuestas aproximadas que resulten aceptables para la supervivencia inmediata; no conviene pararse a valorar si el león se halla cerca o lejos».

Ciertamente, como decíamos al principio, teñimos la realidad con nuestros propios filtros —prejuicios, expectativas, ideas preconcebidas—. Sin embargo, cuando aparece un león todo el mundo echa a correr. En eso sí estamos de acuerdo.

OLLA VIGILADA NUNCA HIERVE… SOBRE TODO SI LA OLLA ES CUÁNTICA

Un dicho popular reza que «olla vigilada nunca hierve». Pese a que en nuestro día a día lo acabará haciendo, la observemos o no, lo cierto es que muchos hervimos de impaciencia mientras esperamos a que así lo haga.

En nuestro mundo macroscópico, medir u observar un objeto no hace que éste cambie de estado. Si la olla está a medio camino de la ebullición, por mucho que la miremos (o que no lo hagamos) le faltará el tiempo necesario para que hierva.

Sin embargo, en el mundo cuántico las reglas del juego cambian. Entra en escena lo que se conoce como el *efecto Zenón cuántico* que, si nos permitís la analogía —un poco a lo bruto—, vendría a decirnos lo siguiente: si ponemos una olla al fuego y la observamos antes de que rompa el hervor, la física cuántica nos castiga a volver a la casilla de salida, usando el símil de la Oca. El fuego tendrá que calentar el agua de nuevo.

Un observador del mundo cuántico demasiado impaciente, que vigilase cada poco el agua, acabaría haciendo imposible que ésta hirviese.

Este fenómeno que va contra la intuición humana es fruto de la misteriosa influencia que tiene la medición en la física cuántica. Al observar abortamos el proceso que se habría producido sin la observación.

Es como si interrumpiéramos a alguien a punto de dormirse preguntándole cada pocos segundos: «¿Estás dormido?». De este modo tendrá que empezar a conciliar el sueño una y otra vez de cero.

En el apéndice encontraréis el experimento realizado por un grupo de investigadores de Colorado en el que se puso a prueba este efecto Zenón cuántico.

LA LEY DEL ESFUERZO

El impacto de estos experimentos a menudo se ha trasladado a ámbitos que nada tienen que ver con la física. Por ejemplo, muchas personas entienden la ley de la atracción como un poder mágico: basta con pensar en un objetivo para que éste se materialice.

En nuestra opinión, la convicción ayuda a optimizar un resultado, como el corredor que está convencido de poder cubrir 100 metros lisos en menos de 10 segundos. Sin embargo, esta expectativa positiva no sirve para nada sin miles de horas previas de entreno y unas condiciones físicas muy propicias.

Es un hecho que sólo con pensar en algo (por ejemplo, que nos tocará la lotería) no basta para que se convierta en realidad. Pese a que la comparación a nivel psicológico que vamos a plantear es tan errónea como la anterior[20], a nosotros nos gusta más pensar que el efecto Zenón cuántico nos plantea una nueva ley no apta para

vagos: la ley del esfuerzo. Como cita Jorge Valdano en uno de sus libros: «El Éxito sólo viene antes del Trabajo en el diccionario».

7
Hasta que la decoherencia nos separe

> El universo no sólo es más extraño de lo que pensamos, sino más extraño incluso de lo que somos capaces de pensar.
>
> WERNER HEISENBERG

EL VIENTO Y LA LLUVIA ME GOLPEAN EL ROSTRO. No soy consciente de cómo he llegado aquí. Hace sólo unas horas estaba con Sonia… Y sin embargo ahora estoy completamente solo. La tormenta se ha vuelto peligrosamente violenta. Empiezo a correr por las calles de Atlantic City, en la costa Este de Estados Unidos. El sonido de sirenas es lo único que consigue sobrevivir al estruendo del huracán que dentro de muy poco tendré encima.

Pese a la cortina de agua que dificulta mi visión, consigo distinguir la entrada de un estrecho callejón. Quizá no me protegerá del agua, pero sí del viento. Total, ya no sé si lo que empapa mi cuerpo es sudor o lluvia. Decido adentrarme en él.

Enseguida me doy cuenta de que estoy en un callejón sin salida. Frente a mí sólo hay una pared de ladrillos sin puertas ni ventanas. Antes de que me resigne a dar media vuelta y deshacer mis pasos, algo roza mi pierna izquierda y se dirige a toda prisa hacia el muro que tengo frente a mis narices.

No llego a distinguir qué o quién es. Sólo consigo ver una pequeña esfera desenfocada. Para mi sorpresa, sea lo que sea, atraviesa la pared sin dificultad alguna. Sin tiempo para recuperarme de aquella extraña visión, tres objetos más, parecidos al anterior, atraviesan del mismo modo la pared.

Tengo un *déjà vu*. Yo ya he vivido algo así antes.

Mi memoria retrocede hasta la visita de Quiona a mi apartamento, cuando me teleportó al laberinto del mundo cuántico. Allí vimos a un electrón atravesar un muro igual que éste.

¿Es posible que esas curiosas partículas campen a sus anchas por Atlantic City?

Me acerco a la pared y me deslumbra un rótulo luminoso: CASINO DE HEISENBERG.

Si no fuese de locos, juraría que acaba de aparecer en un muro donde antes no había nada.

Un relámpago cae a mi espalda consiguiendo que pegue un brinco. Ha ido de poco que no me calcine. El estruendo que le sigue me recuerda que el huracán está cada vez más cerca.

—Será mejor que tunelees. Aquí fuera la cosa se pone fea.

La voz procede de un ser bajito a mi derecha. Parece salido de un cuento de elfos nórdico. No levanta más de un metro del suelo, es flaco y sus ojos tienen un color verde brillante. Sus pupilas negras, en vez de redondas, son ovaladas como las de un felino. Un pelo liso y cobrizo le cae sobre los hombros.

Antes de que yo pueda preguntarle nada, arranca a correr hacia la pared. A diferencia de los electrones, el pequeño ser se estampa contra el muro y cae de bruces al suelo.

Al instante se levanta aturdido y se sacude el agua de las ropas. Luego repite exactamente el mismo movimiento, pero a diferencia del primer intento, en esta ocasión logra desaparecer tras el muro.

Decido tunelear y seguir al elfo. Total, ya he hecho esto antes, aunque acompañado de Quiona todo parecía posible… Empiezo a correr en dirección al muro. Justo antes de llegar a él, me cubro el rostro con los brazos para hacer más leve el impacto. Pero éste nunca llega.

Lo he vuelto a conseguir: he atravesado la pared.

EL CASINO DE HEISENBERG: LA BANCA SIEMPRE GANA

El escenario que se desvela ante mis ojos sería igual al de los casinos ilegales de las típicas películas de gángsteres, de no ser por los extraños personajes que se arremolinan en torno a las ruletas y las mesas de juego.

Diversos elfos realizan apuestas en las mesas. Juegan a las cartas, a los dados o a la ruleta. Entre estos últimos, distingo esas esferas borrosas que he visto tunelear en el callejón. Al observarlas me entra dolor de cabeza. Es como si llevase las gafas mal graduadas y las figuras fuesen del todo borrosas. Además, no hay manera de que esas bolitas molestas se estén quietas.

Cierro los ojos con fuerza y sacudo mi cabeza, como si así pudiese aclarar la visión, pero al abrirlos de nuevo compruebo que nada ha cambiado.

Decido acercarme a una de las mesas de apuestas, presidida por una gran ruleta. Allí, una hermosa señorita con un ajustado traje rojo empuja a los espectadores a que hagan sus apuestas. Una larga melena rubia cae sobre sus hombros descubiertos gracias a un escote de vértigo.

Al verme, se dirige a mí con la voz más seductora que he oído jamás:

—¿Quieres probar suerte, joven?

—Si me explicas las normas del juego… —digo sin poder resistirme a su canto de sirena.

La hermosa crupier, con una sonrisa encantadora que descubre sus blancos dientes, me señala la ruleta que tiene en frente. En ella hay treinta y seis números alternando el rojo y el negro.

—Es muy sencillo —explica acercándose todavía más a mí—: en lugar de una

bola, como en un casino clásico, lanzaré cien bolas a la ruleta. Si alguna de ellas cae en un número negro, ganas tú; de lo contrario, la banca gana.

Esta variación del juego me parece muy estúpida. Si lanza cien bolitas es imposible que una de ellas no caiga en uno de los dieciocho números negros.

Acepto el reto, olvidando que no he comprado ninguna ficha aún.

La atractiva joven empieza el juego y tira las bolitas una tras otra, como una ametralladora, sin mediar un intervalo entre ellas.

Pero enseguida noto algo extraño en el comportamiento de las bolitas que van entrando en la ruleta: tan pronto las lanza, se desenfocan y no soy capaz de ver su recorrido.

Al final las cien bolitas han quedado dispuestas de forma peculiar en la ruleta, que cada vez gira con más lentitud. Las bolas se agolpan —varias en cada casilla— exclusivamente en las posiciones rojas, mientras que las negras están vacías.

¿Qué diablos ha sucedido?

—Esta mesa tiene que estar trucada —protesto—. ¡Esto es imposible!

A mi lado, un elfo con gafas de sabiondo y chaqué me corrige:

—Imposible, imposible no lo es… Hay una probabilidad no nula de que una de las bolitas caiga en algún número negro… En cambio, sí hay una probabilidad nula de que alguien en su sano juicio se atreva a apostar por un mínimo de interferencia.

No entiendo un pimiento de lo que me está diciendo. ¿Mínimo de interferencia? Pero… ¿no estoy jugando a la ruleta?

La joven hermosa se me acerca, satisfecha por haberme embaucado.

—Has perdido. Ahora toca pagar.

Humillado y confundido, rebusco entre los bolsillos de mis pantalones, pero no tengo fichas. Un sudor frío recorre mi espalda.

—Lo siento, he olvidado pasar por caja y… —me excuso.

De repente, el hermoso rostro de la joven vestida de rojo se transforma en algo monstruoso. Unos dientes horribles y puntiagudos emergen de su boca mientras emite un gruñido parecido al de un lobo y sus ojos se vuelven tan rojos como su traje.

Alguien tira de mí hacia atrás por el cinturón de mis tejanos. El elfo que me animó a tunelear en el callejón me acaba de alejar del monstruo embaucador.

—Tranquila, Sira —le dice a la crupier—. Le llevaré a la banca a pedir crédito.

El elfo me agarra por la manga del jersey y me aleja hacia un rincón seguro del casino. Nos situamos frente a un mostrador parecido al de un banco, que parece ser el lugar donde se compran las fichas.

Sentado tras el mostrador, hay un anciano cajero con una visera negra que cuenta, visiblemente apurado, su montón de monedas una y otra vez.

—A quién se le ocurre apostar en la ruleta de la interferencia… —me regaña el elfo.

En ese momento nos rodean más esferas desenfocadas que se agitan sin parar.

—¡Por el amor de Dios! —exclamo todavía más agobiado—. ¿No pueden dejar

de moverse estas endiabladas criaturas? Es imposible verlas con claridad.

—Por supuesto que no pueden pararse —responde el elfo—. Y tampoco las verás nunca claramente. ¿No te has fijado en el nombre del casino? ¡Aquí nadie osaría desafiar a Heisenberg!

El elfo se coloca en la fila pese a los desordenados movimientos de las pequeñas partículas que van delante nuestro.

Distingo un cartelito de madera que cuelga de dos hilos sobre la cabeza del cajero. En él se pueden leer los siguientes símbolos, que no sé que significan:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geqslant \frac{\hbar}{2}$$

—Esto es un casino de locos —refunfuño—. ¿Aquí me darán fichas para pagar a Sira?

En ese instante una partícula borrosa se coloca delante de nosotros en la cola. Mi nuevo amigo protesta e impide que se cuele.

—Dichosas partículas virtuales… —reniega—. Y tú, amigo humano, tendrás que pedir monedas cuánticas virtuales. ¡Apostaste una gran cantidad, insensato! Tan pronto como te den el préstamo, corre hacia la mesa de Sira y entrégale lo que le debes muy rápido. De lo contrario, las monedas virtuales habrán desaparecido antes de que llegues. Y yo no pienso hacerme responsable de tu seguridad…

EPR Y LOS LADRONES DE GUANTE BLANCO

—Nos toca —digo con sequedad al elfo para que deje de sermonearme.

Nos acercamos al mostrador donde el cajero está protestando en voz alta:

—¡Dichosas fluctuaciones cuánticas! Tengo que contar más rápido, si no el error cada vez será mayor…

El elfo le saca de sus cábalas golpeando sobre la madera:

—Necesitamos monedas cuánticas.

A partir de ahí entablan una discusión sobre algo llamado *electronvolts* y otras palabrejas que no entiendo. Finalmente, el cajero le da una bolsita de tela llena de monedas.

Siguiendo las instrucciones de mi nuevo amigo, aprieto a correr hacia la mesa de Sira. Vuelve a tener la apariencia de una hermosa y atractiva mujer, pero esta vez no pienso caer en sus fauces.

Casi sin mirarla a la cara, derramo las monedas sobre la mesa y consigo decir:

—Deuda saldada.

Acto seguido, me alejo todo lo que puedo de la ruleta cuántica. Enseguida me llama la atención una mesa redonda en la que un joven muy elegante, vestido con frac, congrega a una pequeña multitud a su alrededor.

—Mis habilidades extrasensoriales, combinadas con mi inteligencia sublime, eso obviando mi atractivo natural… —suelta el tipo a la vez que guiña el ojo a una chica que se ruboriza— me permitirán adivinar con precisión si la moneda que está bajo este pañuelo nos muestra cara o cruz.

—Vaya fantasmón. —Oigo detrás de mí.

Quien acaba de hablar es un tipo que viste una americana vieja con manchas de café, pelo canoso largo y un sombrero de copa marrón con un parche en el lado derecho. No consigue ir elegante, pese a su intento. Más bien parece un mendigo andrajoso, nada que ver con el chico guapo que atrae la atención de todos.

—¿Quién apuesta? —prosigue el atractivo joven.

Un par de elfos depositan una pila de monedas sobre la mesa.

—Aquí y ahora os digo que, cuando levante el pañuelo, la moneda mostrará cara —dice complacido el guaperas.

Efectivamente, al retirar el pañuelo de seda, sale cara.

El joven repite el juego una y otra vez mientras distintos elfos van perdiendo sus monedas. Si no fuera por la elegancia y el atractivo del chico, reconocería esta escena como la típica de los trileros que estafan a los turistas por las Ramblas de Barcelona.

De repente, un par de señores con traje y corbata se colocan a ambos lados del apuesto joven, que está absorto en su juego, y le agarran cada uno por un brazo.

—Queda usted detenido por estafa cuántica —dice uno de ellos mientras saca una placa de policía.

Mientras su compañero le pone unas esposas, el policía le cachea hasta arrancarle un dispositivo de comunicación oculto en su oreja.

—Así que a través de este micro te pasaba la información, ¿verdad?

—No sé a qué se refiere, agente.

—Venga ya, conmigo no funcionan tus jueguecitos, dandi trilero. Acabamos de pillar a tu hermano.

Por la cercana puerta de emergencia vemos aparecer a dos agentes más con un joven exactamente igual que él.

—Mira por dónde… ¡Pero si son el par EPR! —Oigo decir al mendigo andrajoso que estaba a mi lado.

—¿Quién? —le pregunto.

—Son un par de ladrones de guante blanco —dice admirado—, el terror de los casinos cuánticos.

—Pero… ¿Por qué les detienen? ¿Dónde estaba el truco de la moneda? Es imposible que adivinase siempre la cara o la cruz. ¿O es que aquí existen los poderes psíquicos?

—Nada de poderes psíquicos. Lo que hacen este par EPR de ladronzuelos es utilizar el entrelazamiento.

Sin entender qué me está diciendo, para variar, asisto a un instante de confusión y pánico. De algún modo, los hermanos EPR han conseguido liberarse de las esposas e

inician una fuga perseguidos por los policías.

Cuando están a punto de llegar a la puerta, ambos hermanos se giran orgullosos y, con la arrogancia de los ladrones de guante blanco, se dirigen al público al grito de:

—¡Hasta que la decoherencia nos separe!

En ese instante lanzan al aire las monedas «entrelazadas» que usaban para su truco. Éstas vuelan por el casino hasta llegar a mis manos.

Los policías me señalan, alarmados, y empiezan a correr hacia mí.

—Amigo, yo de ti me las piraba —susurra el tipo andrajoso de mi lado—. Éstos no están para milongas.

Asustado, empiezo a correr en dirección contraria. La mujer monstruosa se une a la persecución.

Preso del pánico, intento que mis piernas se muevan más rápido. Un grupo de partículas borrosas empiezan a mezclarse entre mis piernas, consiguiendo que pierda el equilibrio mientras un chorro de monedas cuánticas se derrama de mis bolsillos como si de un manantial se tratase.

Cuando caigo al suelo, las monedas empiezan a cubrir todo mi cuerpo.

«Aquí acaba todo —pienso—. Moriré enterrado por ellas.»

Tras la pesadilla

Me despierto enredado en las sábanas, completamente empapado en sudor. ¡Ha sido una pesadilla! Aliviado, aprieto el botón superior del despertador de la mesilla. Una tenue luz azul proyecta la hora en el techo. Todavía faltan unos minutos para las seis de la mañana.

Después de dar un par de vueltas en la cama, me resigno: no podré volver a conciliar el sueño.

Me desperezo y me siento delante del ordenador. Antes de que se me olvide, quiero plasmar en un correo para Sonia con todo lujo de detalles los extraños elementos que han aparecido en mi pesadilla. Quizá ella pueda interpretarlo mejor que yo.

Envío el correo y me preparo un té.

Vuelvo a sentarme frente al ordenador, impaciente, pese a que sé que es casi imposible que lo haya leído, sobre todo a estas horas de la mañana.

Gratamente sorprendido, veo que en mi bandeja de entrada he recibido un correo. Es de Sonia.

De: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

Buenos días, Francesc:

Mucho me temo que sufres de sobredosis cuántica… Pero tengo que reconocer que tu sueño es genial, aunque siento que lo hayas pasado mal :-D.

No sé si tendrás ánimos para leerlo ahora, pero me he tomado la libertad de escribirte mi propia interpretación de tu pesadilla. Aunque si yo fuese tu psiquiatra, te aconsejaría que no siguieras leyendo…

EL CASINO DE HEISENBERG

Según me has descrito, en el sueño te adentraste en un casino donde se cumplen las normas del principio de incertidumbre de Heisenberg.

Este principio nos dice que no podemos conocer al mismo tiempo la posición de las partículas (dónde están) y su velocidad (cómo y hacia dónde se mueven). Al menos, no de manera exacta. Siempre se debe cumplir una relación como la que viste en el cartel de madera: $\Delta x \cdot \Delta p \geqslant \hbar/2$

Puedes entender esta fórmula del siguiente modo: sabes más o menos la posición y más o menos la velocidad. Cuanto más sabes de una, menos sabes de la otra.

Los electrones que veías borrosos estaban siendo fieles a este principio. Ése es el motivo de que no estuvieran claramente definidos, pues no podías ver exactamente dónde estaban ni hacia dónde se movían.

La misma teoría de Heisenberg explica por qué estas partículas no se podían detener. Si una de ellas estuviese quieta, en el casino cuántico verías con claridad su posición exacta y también su velocidad precisa: cero.

Por otro lado, debo darte la enhorabuena por el modo en que entraste al casino. ¡No todo el mundo es capaz de tunelear una pared tan gruesa a la primera!

Una de las ventajas de las partículas subatómicas es que pueden atravesar barreras o muros. Para nosotros, en nuestro día a día, la posibilidad de poder atravesar la pared de casa es pequeñísima. De hecho, es casi imposible. Deberíamos estrellarnos contra ella durante una eternidad para conseguirlo. Vamos, que existiendo las puertas, no es muy práctico intentar tunelear la pared…

Volvamos al principio de incertidumbre de Heisenberg. La misma ley que se cumple para la posición y la velocidad también se aplica a la energía y

el tiempo (esta relación se cumple para las magnitudes que se consideran, en física, complementarias). Gracias a ello se puede crear materia de la nada… pero por poco tiempo. Eso es lo que llamamos fluctuaciones cuánticas, y a lo que hacía referencia el contable de la banca del casino.

Deduzco que era así como funcionaban allí los créditos: podías conseguir una cantidad de energía prestada —que se convertiría en monedas—, pero por un instante de tiempo limitado. Cuanto más grande era la energía que necesitabas, menos tiempo duraba.

Esta relación puede sonar extraña, pues seguramente recordarás que en clase de física de secundaria decían que la energía ni se crea ni se destruye. Pero en el mundo cuántico esta ley no se cumple a rajatabla.

Así es como se crean las llamadas «partículas virtuales» o, en tu caso, las monedas virtuales con las que pudiste pagar a Sira después de perder en la ruleta de la interferencia.

Estaba cantado que ibas a perder. Tal y como me describiste las posiciones que tomaron las bolitas en la ruleta, me temo que asististe de nuevo a la creación de un patrón de interferencia. Los números negros se encontraban en los llamados «mínimos de interferencia»: era casi imposible que una bolita cayese en ellos, tal y como viste en el experimento de la doble ranura.

Así que estoy de acuerdo con los elfos que te rodeaban: a nadie en su sano juicio se le ocurriría apostar por un número negro.

ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO Y LADRONES DE GUANTE BLANCO

Creo que puedo explicarte el truco que hicieron los gemelos EPR con sus monedas. Lo que presenciaste en el casino nada tiene que ver con poderes psíquicos… El par EPR utilizaron el entrelazamiento cuántico, un fenómeno que fue planteado en 1936 por Einstein, Podolsky y Rosen.

Dos partículas entrelazadas son como dos gemelos que tienen una conexión muy especial. Se dice que aunque dos gemelos estén separados por miles de kilómetros, si uno se hace daño, su hermano siente el mismo dolor. Pues bien, algo así sucede con las partículas entrelazadas. Aunque las separes, cuando hacemos algo a una de ellas, la otra lo siente al instante. A pesar de haberlas alejado siguen conectadas. Eso significa estar entrelazadas.

En tu sueño, cada hermano gemelo disponía de una moneda entrelazada. Una de ellas era la que veía el público sobre la mesa. La otra la tenía el gemelo que se escondía tras la salida de emergencia.

Al estar entrelazadas de este modo, en el momento en que el hermano que estaba escondido observaba su moneda determinaba el resultado de su gemelo. Cuando una mostraba cara, la otra siempre mostraría cruz.

De ese modo, el hermano que estaba escondido observaba su moneda y le chivaba a su gemelo el resultado mientras éste distraía al público con su encantadora sonrisa de fantasmilla. En ese momento ya sabía cuál sería el resultado de la moneda oculta bajo el pañuelo de seda, sólo tenía que ponerle teatro al asunto y decir lo contrario que su gemelo le chivaba por el micro.

El entrelazamiento cuántico es un fenómeno extraordinario. A mí me gusta pensarlo de un modo poético: en el instante del Big Bang, el origen del universo, todas las partículas nacieron juntas y, por lo tanto, entrelazadas. Todo lo que existe en el cosmos se ha formado a partir de aquellas partículas, de modo que estamos entrelazados con todo lo que nos rodea: los árboles, las personas… incluso las estrellas.

Supongo que si fuésemos conscientes de lo relacionados que estamos todos con todos, y cómo cualquier cosa que hagamos a los demás seres o a nuestra Tierra acabará afectándonos, actuaríamos de un modo muy distinto.

Carl Sagan usó unas palabras preciosas, aunque en otro contexto, que encajan muy bien con este principio de entrelazamiento: «Se está desarrollando una nueva conciencia que concibe la Tierra como un solo organismo que, si entra en guerra consigo mismo, estará condenado».

DECOHERENCIA

El grito con el que se despiden los gemelos EPR hace referencia a la pérdida de las propiedades cuánticas al pasar del mundo microscópico al macroscópico.

Seguro que más de una vez te has preguntado: si las partículas atómicas, los ladrillos de todo lo que vemos, se comportan de un modo tan extraño, pudiendo estar en dos sitios a la vez, vivas y muertas, ¿por qué no ocurre lo mismo en nuestro día a día con las cosas grandes?

Los estados cuánticos son muy delicados. Cualquier interacción con el entorno, con el aire o con la luz ambiente, por ejemplo, puede destruir estos fenómenos.

¿Recuerdas el experimento del gato de Schrödinger? El motivo de que un gato no esté vivo y muerto, pese a tenerlo dentro de la caja, es que cualquier partícula de aire, la temperatura dentro de la caja e incluso su

interacción gravitatoria con la Luna (que sería distinta si el gato está en el suelo, muerto, o de pie, vivito y coleando), se entrelazaría con el animal y produciría «observaciones». De ese modo, el estado cuántico de superposición quedaría destruido.

Pasará de estar vivo y muerto a estar o vivo o muerto.

A esta transición del mundo microscópico, en el que sobreviven los estados cuánticos, al mundo macroscópico, donde se pierden estas propiedades, se le llama decoherencia.

Este proceso todavía no se conoce bien y es el gran reto al que se enfrenta hoy en día la computación cuántica: proteger los estados cuánticos de la decoherencia.

Espero que mis explicaciones, lejos de confundirte, hayan dado respuesta a las dudas que tu inconsciente te lanzaba en este sueño. A ver si esta noche consigues dormir como un bebé.

Sonia

PD. Puesto que no puedes dormir, he pensado en ir a tu casa. ¿Qué te parece si te invito a uno de nuestros desayunos con partículas?

8
Tantas cabezas, tantos sombreros

> Todo el mundo tiene derecho a dudar de todo tan a menudo como quiera. Es obligado dudar al menos una vez. Ninguna forma de ver las cosas es tan sagrada que no pueda reconsiderarse. Ninguna forma de hacer las cosas es tan óptima que no pueda mejorarse.
>
> EDWARD DE BONO

En unos minutos llegarán el resto de los invitados. Mientras ponemos con cuidado los platos y los cubiertos en la mesa, Francesc me pregunta algo temeroso:

—Así pues, los que van a venir a esta cena son, en cierto modo, «enemigos conceptuales» entre sí. Creo que no estoy preparado para una guerra cuántica. Si ya me cuesta seguirte cuando me explicas amablemente esta teoría, no quiero ni pensar cómo debe ser presenciar una discusión entre físicos…

—No debes preocuparte por la «guerra cuántica». Aunque les veas discutir, son viejos amigos. He puesto un par de botellas de vino espumoso en la nevera para que se suelten con más facilidad —le confieso entre risas—, ya verás qué interesante será esta tertulia. En esta ocasión, en vez de un desayuno con partículas, será una cena cuántica. Escucharemos distintas visiones e interpretaciones de la física cuántica.

—Precisamente eso es lo que me da miedo… —dice Francesc por lo bajini.

—Tranquilo, voy a ponerte en antecedentes para que no te pillen desorientado. La teoría cuántica se encuentra con un problemilla cuando llegamos al momento de medir u observar…

—¡Por supuesto! Por lo que me has dicho, tengo que aceptar que, al observar una partícula cuántica, estoy alterando su comportamiento: será onda o partícula dependiendo del experimento que decida hacer. Además, me parece perturbador esto de que los electrones o partículas cuánticas no «existen realmente» en un lugar hasta que los observo, porque antes son algo así como posibilidades o, qué sé yo… ¿electrones en potencia? Sonia, ¡decir que eso es un problemilla es quedarse corto!

Mi amigo se desploma, abatido, en el sofá. Conozco bien la desorientación que siente ahora mismo. Está empezando a adentrarse en la maraña de la teoría cuántica y sus paradojas, que ponen a prueba nuestra paciencia.

—Supongo que tienes razón —reconozco—, tenemos una gran traba conocida como el «problema de la medida», que, a pesar de que ya nos hemos enfrentado a él cuando hemos visto el experimento de la doble ranura, prefiero abordarlo en cuanto lleguen los demás… Existen diversas interpretaciones de la teoría cuántica. Todas ellas explican los resultados que obtenemos del mismo modo.

—Pero eso significa que… ¿todas son válidas?

—En este punto ya no hablamos de física, sino de la interpretación de los resultados físicos… Algunos lo incluyen en el término «ciencia», otros lo sitúan fuera del límite. Pero la frontera es tan sutil que nos movemos en terreno pantanoso. Todas las interpretaciones predicen los mismos resultados, pero tienen implicaciones filosóficas diametralmente opuestas. Lo único que tendrás que disculparnos es que nos ponemos un poco filosóficos al hablar de estos temas y nos hacemos unas pajas mentales de cuidado…

—¿Y cuáles escucharé esta noche?

—Estará presente Rhob, que es defensor de la interpretación de Copenhague, la más utilizada en las universidades, y también la que he utilizado yo casi siempre en mis explicaciones hasta hoy. Esta teoría defiende que la «realidad física» de las partículas subatómicas no «existe» antes de la observación, sino en el momento en que es observada: cuando se produce el colapso.

—Y en ese momento, de todas las posibilidades, sólo sobrevive una… Es como si las otras se desvanecieran —dicta Francesc como si recitase una lección de memoria.

—Así es. En su interpretación no es importante lo que sucede en el mundo microscópico de las partículas subatómicas, sino la interacción con los aparatos del mundo macroscópico, el que estamos acostumbrados a ver y el que usamos día a día. Los aparatos grandes, como las sillas o los gatos, sí que existen realmente, y eso es lo que nos debe importar. En cierto sentido es una interpretación práctica.

—Suena un poco como los positivistas de los que hablamos[21].

—Sí, pese a que Bohr, uno de los padres de esta interpretación, sí que buscaba una respuesta a lo que la naturaleza nos quiere decir con todo esto.

Le sirvo una copa de vino espumoso a Francesc para amenizar la conversación y prosigo.

—Conocerás también a Bohm. Él sigue una formulación ligeramente distinta a la de Copenhague de Bohr, la llamada «teoría de variables ocultas no locales» de David Bohm. Con ella se evita el azar y se recupera el determinismo. Vendrá también Ttereve, que planteará la hipótesis de múltiples universos.

—Vaya, éste se llevaría bien con nuestro amigo Marcelo, que es un frikie de la ciencia ficción.

—Y el último invitado a esta cena es Keruz, que espero que te hable de la decoherencia, cuyo intento es entender cómo se produce la transición y dónde se encuentra la frontera entre lo microscópico y lo macroscópico, es decir, el territorio cuántico en el que las partículas se comportan de manera tan rara, y nuestro mundo, en el que los autobuses sólo van en una dirección al encontrarse una bifurcación y no atravesamos paredes.

El timbre de la puerta interrumpe nuestra conversación. Los primeros en llegar son Rhob y Mhob, con una botella de vino blanco y tinto, respectivamente. Ni con el vino se ponen de acuerdo.

Después de los abrazos de reencuentro y una vez cumplidas las presentaciones,

les sirvo un poco de espumoso rosado y unos *snacks* para hacer el aperitivo. Llega el momento de caldear el ambiente:

—Justo antes de que llegaseis estábamos hablando con Francesc del problema de la medida.

—Ah… —exclama Rhob dirigiéndose a Francesc—. Y tú ¿de qué escuela eres?

Al ver la cara de susto que pone mi amigo, como si estuviese frente a un tribunal y su mente se hubiese quedado en blanco, salgo en su rescate.

—Todavía no conoce las distintas interpretaciones de la cuántica, por eso pensé que sois las personas ideales para ayudarle a decidirse.

Ambos científicos se sienten halagados y le dedican una amplia sonrisa a Francesc. Van a hacer esfuerzos para convencerle de su visión. Será divertido ver su reacción…

—Para comprender bien el problema de la medida —empieza Rhob—, lo ideal es que conozcas el experimento de la doble ranura.

—Lo conoce —interrumpo la conversación.

—Sí, pero quizá no me vendría mal repasarlo —suplica Francesc.

Mientras Rhob y Mhob resumen el experimento con mi amigo, atiendo el interfono. Han llegado el resto de los invitados, Ttereve y Keruz.

Puesto que están todos absortos en la explicación del experimento de la doble ranura, interrumpo lo mínimo para hacer las presentaciones y que los recién llegados se unan a la discusión.

—Esto es precisamente lo que me cuesta entender. —Francesc interrumpe la explicación de Rhob—. El electrón, antes de que lo observemos… bien tendrá que estar en un sitio u otro, ¿no es así?

—Eso es a lo que estás acostumbrado —añade Keruz—. Cuando sacas la cabeza por la ventana y miras un coche rojo aparcado frente a tu casa, asumes que antes de observarlo ya era rojo. Algo tan simple en nuestro día a día es lo que lleva a error en el mundo cuántico. Pensar que al medir estamos captando propiedades que ya existen con anterioridad es una equivocación.

—Si fuera un coche del mundo cuántico, en el instante en que observas es cuando el color pasa a existir como rojo —añado.

—Pero, entonces… —interviene Francesc—, ¿cómo ocurre? ¿Cómo acaba seleccionándose una sola de las posibilidades? Es decir, pongamos por caso que me encontrase en un laberinto del mundo cuántico con una preciosa hada, hipotéticamente, por supuesto. En una de las bifurcaciones del laberinto podría entrar en superposición y recorrer dos caminos simultáneamente… Cuando me colapso en uno solo de los caminos, ¿qué ocurre con las otras posibilidades? ¿Acaso se desvanecen las otras cosas que estaba haciendo?

—Estrictamente, no lo estabas haciendo —contesta Rhob—, sino que «podías» estar haciéndolo.

Mhob niega con la cabeza y reniega por lo bajini, mientras Keruz se agita,

visiblemente incómodo en su silla. Ttereve sonríe complacido.

—La versión más ortodoxa de esta teoría dice que, en el mundo cuántico, todo aquello que no está prohibido es obligatorio. Es decir, si en esa bifurcación del laberinto —digo sonriendo a Francesc—, hipotética, por supuesto, puedes pasar por ambos caminos a la vez, entonces pasarás por los dos sin remedio.

—Y ahí radica el gran problema. —Mhob se levanta de su asiento enérgicamente —. ¿Quién o qué es el responsable del colapso?

—Parece obvio —dice acertadamente Francesc—, como demuestra el experimento de la doble ranura, que los electrones no pueden observarse a sí mismos, pues si no hay nadie más se obtiene un patrón de interferencia, señal de que hay superposición. Pero eso hace que me surjan más dudas. Si el proceso de superposición se da siempre; si, como dice Sonia, podemos hacer todo aquello que no está prohibido, entonces también el detector del experimento debería medir todas las posibilidades y también nosotros deberíamos entrar finalmente en superposición. ¿Cuándo se produce el colapso?

Llegados a este punto decido servir más vino. Éste es el momento en que los caminos de nuestros invitados se separan.

Ttereve es el primero en reaccionar:

—Querido amigo, creo que enseguida estarás de acuerdo con la teoría de los múltiples universos, totalmente distinta a la que te han enseñado en el experimento de la doble ranura. Cuando un observador como tú contempla la superposición, habrá una versión de ti viendo que el electrón recorre el camino de la izquierda y otro tú que lo ve por la derecha. Uno para cada resultado posible. Pero las diferentes versiones de ti mismo no son conscientes de la existencia de los otros. Se generan dos mundos con versiones ligeramente distintas de ti. Como tus versiones interaccionarán con otra gente, etcétera, el universo entero también se va dividiendo una y otra vez.

—No lo dices en serio, ¿verdad que no? Esto suena a ciencia ficción —dice incrédulamente Francesc—. Así, no es que se colapse una sola posibilidad, como había dicho antes, sino que cada una sobrevive en un universo distinto generando infinitas realidades.

—Lo has explicado bien… Pero esta teoría tiene un alto coste —añade Rhob—. Constantemente se van produciendo inmensidad de divisiones, una para cada posibilidad cuántica. Esta teoría sale muy cara en universos.

—Por otro lado —añade Mhob—, ¿cómo podemos demostrar que todas las opciones están sucediendo a la vez y que existen múltiples universos… si no podemos acceder a ellos?

—¿Acaso es mejor la interpretación de Copenhague? —protesta Ttereve a Rhob —. Que sea la utilizada en las clases de la universidad no significa que sea más válida que las otras. Según tú, es al medir que sobrevive una sola opción y las demás simplemente desaparecen. Esto más que ciencia ficción parece fantasmagórico.

Ttereve ha dicho esta última frase casi gritando y visiblemente enfadado. Pero al

instante, tras un sorbo de vino, recupera la postura cordial.

—Además —le dice Francesc a Rhob—, si no lo entendí mal, con tu interpretación sostenéis que este proceso es completamente aleatorio, al azar. Pero ¿dónde está la frontera entre el mundo clásico, en el que sólo hay una posibilidad, y el mundo cuántico, en el que coexisten todas ellas?

—A efectos prácticos, no nos interesa saber dónde está esa frontera —se defiende Rhob—. Cualquier objeto macroscópico, ya sea una cámara que registre el camino que sigue el electrón o un contador Geiger, nos sirve para que la función de onda se colapse. Es entonces cuando se crea la realidad física. Éste es el mundo en el que nosotros nos movemos. Saber eso nos basta.

Rhob se sirve más vino en la copa antes de proseguir con su explicación:

—La realidad física del átomo de uranio me importa un pimiento, pero las consecuencias de la división de su núcleo nos preocupan a todos.

Francesc se me acerca disimuladamente y me susurra al oído sin que los demás se enteren:

—Seguro que Quiona no estará tan de acuerdo con lo que dice Rhob de que su mundo no es importante. Le dejaría mudo con uno de sus trucos.

—Bohr y sus colegas también dotaron a la interpretación de Copenhague de una fuerte implicación filosófica —interviene Keruz—. Incluso Von Newmann o Wigner llegaron a argumentar que el «responsable» final del colapso era el encuentro con la consciencia.

—¿Cómo? —interrumpe Francesc—. Me parece una afirmación demasiado fuerte para aceptarla.

—Lo es —añade Mhob—, aquí es cuando nos metemos en terrenos pantanosos… Pero dejadme que me salga por la tangente. Esta separación de mundos, el clásico y el cuántico, que plantea Copenhague cada vez es menor. Hoy en día ya no medimos sólo electrones aislados, sino que se hacen experimentos con más de seiscientos átomos juntos, de modo que lo que llamamos microscópico cada vez se hace más grande. Si seguimos así, ¿dónde pondremos la frontera entre ambos mundos? ¿Dónde acaban las posibilidades y empiezan las realidades?

—Aquí entro yo —dice Keruz, con autoridad, dirigiéndose a Francesc—. Hay un modo de evitar el «colapso de la función de onda» en una única realidad observada: la decoherencia. Este proceso nos explica la pérdida de coherencia de los objetos cuánticos, lo cual sucede al interaccionar con el entorno.

—No entiendo un carajo —reconoce mi amigo, medio atragantado con la tortilla de patatas.

—La teoría de la decoherencia intenta explicar cómo un objeto cruza la frontera del mundo cuántico al clásico —aclaro—. Volvamos al gato de Schrödinger, ¿lo recuerdas?

—Como si lo hubiese visto en mi propia casa —responde Francesc con ironía—. Él mismo me contó su historia: vivo y muerto a la vez. Condenado a residir en el

neblinoso mundo cuántico para siempre.

Los demás comensales ríen la gracia de Francesc sin darle más crédito.

—Es el mismo gato —acudo en su ayuda—. Pero hay un motivo por el que no sabemos cómo conseguir que un gato, sin duda un objeto macroscópico, pueda entrar en superposición. Los estados cuánticos son muy frágiles. Cualquier interacción con el entorno, ya sean las partículas de aire o la temperatura de una sala, consigue destruirlo. En palabras técnicas, como decía Keruz, se pierde la coherencia cuántica. Por eso, la teoría que él te ha descrito se conoce como decoherencia.

—Volviendo al gato… —añade Keruz—. Como imaginarás, es imposible dejarlo en un vacío y no matarlo directamente. Por extraordinario que parezca, al estar el animal muerto y tumbado en el suelo de la caja, la interacción gravitatoria con la propia Luna sería distinta a la de estar vivo y de pie en ella. Así que la Luna se entrelazaría con el gato y produciría algo equivalente a la «observación».

—Ése es precisamente uno de los grandes retos que se nos plantea durante la construcción de los anhelados ordenadores cuánticos —intervengo para completar la explicación—. ¿Cómo conseguir que los estados coherentes, o sea, con propiedades cuánticas, de las partículas que lo forman «sobrevivan» el tiempo suficiente para realizar los algoritmos de computación?

—Que no los separe la decoherencia, vamos —dice Francesc.

—¡Exacto!

—Con esta interpretación ya no necesitamos ningún observador único —concluye Keruz—, y además tenemos la «percepción» de una realidad única.

—Haces bien en emplear la palabra «percepción» —replica Mhob—. No hay una realidad antes de que se produzca la decoherencia. Pero hay otra interpretación con la que todo vuelve a cobrar sentido. La visión de Bohm: variables ocultas no locales.

—David Bohm —explico a Francesc— era discípulo de Einstein y compartía la incredulidad de que la mecánica cuántica fuese incompatible con la existencia de partículas reales. Consiguió una formulación alternativa que es, en esencia, determinista.

—Volvamos al experimento de la doble ranura. —Mhob retoma la conversación —. La formulación de Bohm nos ofrece matemáticamente los mismos resultados que la de Copenhague, pero sus implicaciones son diametralmente opuestas: con Bohm, el electrón pasa sólo por una de las dos ranuras, no por ambas a la vez.

—Pero, entonces, ¿cómo obtenemos el patrón de interferencia y no las dos franjas? —pregunta Francesc.

—Los electrones se comportan de un modo previsible —prosigue Mhob—, pero en el mundo cuántico se ven afectados por una fuerza especial, una fuerza cuántica que crea la llamada «onda piloto».

—Las ondas piloto serían como los raíles de tren que, en nuestro caso, marcan al electrón el camino que debe seguir —puntualizo.

—Sigo sin entender la relación con el experimento de la doble ranura.

—Cada electrón pasa sólo por una de las ranuras, y no lo hace al azar sino que depende de la dirección inicial en la que los disparamos, igual que en la física clásica —le argumento—. Lo extraño, en el mundo cuántico, es que el camino que siguen viene fijado por estas misteriosas ondas piloto. La forma y la dirección de los raíles que guiarán al electrón se ve afectada por todo lo que existe alrededor, es decir, se ve alterada por la existencia de la otra ranura. Por eso podemos ver el patrón de interferencia, porque la doble ranura afecta a esta fuerza que guía al electrón sólo a los puntos que llamáis de máxima interferencia.

—Aún me resulta difícil de entender —se le escapa a Francesc.

—Si abriésemos una tercera ranura, la fuerza cuántica modificaría las ondas piloto y éstas harían que el recorrido del electrón fuese distinto.

—¡Ajá! —replica Ttereve—. Pero esta onda piloto, responsable de guiar al electrón por su recorrido hasta la pared, conserva la información de todo lo que podría haber sucedido. Tiene en cuenta todas las posibilidades.

—Es decir, que el electrón sabe que hay otra ranura gracias a ese potencial o fuerza cuántica —repite Francesc—. Empiezo a tener la cabeza como un bombo.

—Lo importante —concluye Keruz— es que la física cuántica nos planta ante las narices una verdad desconcertante: nuestra cotidiana y razonable visión del mundo, donde todo funciona como los previsibles engranajes de un gigantesco reloj, es incorrecta en lo más fundamental.

—Como decía Haldane —añado—, «la visión del mundo que demanda la teoría cuántica no sólo es más extraña de lo que suponemos, sino más extraña de lo que podemos suponer».

Francesc interrumpe nuestras divagaciones al levantarse de la mesa y regresar con seis sombreros de diferentes colores. De repente entiendo qué llevaba en la caja redonda con la que se ha presentado en casa.

—Las diferentes interpretaciones de las que habéis hablado esta noche nos dan distintas visiones del mundo. Por lo que he entendido, ninguna es más correcta que la otra, todo depende del sombrero que lleves puesto.

LOS SOMBREROS PARA PENSAR

Francesc toma la palabra para amenizar la cena llevando la discusión a su terreno. Muestra a todos los presentes los seis sombreros y dice:

—Hasta ahora habéis hablado de diferentes visiones del universo cuántico y lo que sucede en él. Yo os propongo un juego para ampliar nuestras percepciones sobre cualquier problema al que debamos enfrentarnos. Normalmente utilizamos una sola cabeza, es decir, una perspectiva, para entender cualquier situación. Pero… ¿qué sucedería si tuviéramos seis cabezas diferentes para pensar?

Ttereve interviene, preso de un súbito entusiasmo:

—Eso es posible en los universos múltiples.

—También se puede tener seis cabezas en un solo universo —replica Francesc—, si estamos dispuestos a permitir que nuestras ideas cambien de dirección. De eso se ocupa justamente el pensamiento lateral. ¿Sabéis de qué os hablo?

Los científicos callan. No quieren meterse en aguas pantanosas.

—Quizá el autor que mejor ha tratado el tema sea Edward de Bono —prosigue mi amigo—. Se utiliza mucho en los procesos creativos y, más que una alternativa al pensamiento lógico o vertical, es un complemento para hallar nuevas soluciones. El objetivo es aceptar todos los caminos posibles cuando afrontamos un problema.

—Pero al final podrás escoger sólo uno —afirma Mhob—, como el electrón que es observado en el experimento de la doble ranura.

—Probablemente —afirma Francesc—, pero antes es muy útil pensar la situación con cada una de las seis cabezas.

—A ver, explica cómo eso es posible… —le exige Rhob.

—Siguiendo la propuesta del autor de *Seis sombreros para pensar*, imaginemos que el color de cada uno de estos sombreros determina nuestra forma de pensar. Al ponérnoslo, simbólicamente desarrollaremos uno de los seis aspectos. Para tratar un determinado problema o situación, iremos probándolos uno tras otro asumiendo durante unos minutos un determinado rol mental. Vamos con ello…

Francesc se encasqueta un sombrero blanco, que señala con el dedo mientras explica:

—Este sombrero nos hace mirar los acontecimientos objetivamente. «Los hechos son los hechos». Este modo de pensar valora los datos de manera fría y analítica. Por ejemplo, al analizar una crisis económica, nos basamos en las fluctuaciones de la bolsa, la caída del PIB, las cifras del desempleo, la prima de riesgo…

—Es decir, buscar soluciones a partir de un conocimiento exhaustivo de lo que hay —dice Mhob—. Eso es muy sensato.

—Y puede ser muy infértil también —interviene Ttereve—. Como decía Einstein: «No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos».

Acto seguido, Francesc interrumpe la discusión quitándose el sombrero blanco para cambiarlo por uno gris que le va francamente grande.

—Las cosas se pueden ver aún peor —dice—. El sombrero gris es el de la lógica negativa, es decir, el de la crítica, el juicio y la prudencia. Nos incita a ver lo que va mal y prever lo que puede ir peor. Ante una crisis, nos dice: cuidado con esto, con eso y con aquello. Busca soluciones a partir de la previsión de escenarios negativos.

—Eso deja fuera una gran parte de soluciones —opino yo ahora.

—Bueno, siempre podemos ver el lado negativo y luego cambiar a otro color, ¿verdad, Francesc? —interviene Keruz, conciliador, mientras mi amigo se pone ahora un sombrero verde.

—Este color distingue al modo de pensar más creativo, enfocado sólo a las ideas

nuevas, barajando todas las posibilidades. Ante una crisis económica, que es el ejemplo que hemos tomado, se centra exclusivamente en las alternativas para crear riqueza, no en los recortes. Y ahora me pondré el sombrero rojo…

Todos miramos el curioso casquete de seda china que adorna la cabeza de Francesc, que explica:

—El sombrero rojo hace prevaler los sentimientos, la dimensión emocional del sujeto y del problema, así como nuestras intuiciones sobre un determinado asunto. Dicho de otro modo, nos escuchamos para saber qué dice nuestra fuente profunda de sabiduría.

—Esto servirá de bien poco para solventar una crisis o un problema de física —opina Rhob.

—Al contrario —replica Ttereve—. Las «corazonadas» han ayudado no pocas veces a la ciencia… En 1865, Kekulé logró desentrañar la estructura de una molécula que ningún químico había logrado entender, la del benceno, gracias a un sueño que le permitió comprender que los pares de electrones giraban cíclicamente en el interior del anillo.

EL SUEÑO QUE DIO ORIGEN A LA QUÍMICA ORGÁNICA

Durante mi estancia en Gante, vivía en uno de los barrios elegantes de la vía principal. Mi estudio, sin embargo, estaba en un callejón estrecho donde no entraba la luz del día… Me encontraba sentado escribiendo en mi libro de texto, pero las investigaciones no prosperaban, mis pensamientos estaban en otra parte. Volví la silla de frente al hogar y me dormí. Una vez más, los átomos comenzaron a brincar ante mis ojos. Pero esta vez los grupos más pequeños se mantenían discretamente en el fondo. Mi ojo mental, entrenado por las repetidas visiones de este tipo, ahora podía distinguir estructuras más grandes; largas filas se entrelazaban y mezclaban en un movimiento como de serpientes. ¡Pero mira! ¿Qué fue eso? Una de las serpientes se había mordido su propia cola, y la forma giró burlonamente ante mis ojos. Como iluminado por un relámpago, me desperté… Si aprendiéramos a soñar, señores, entonces quizá encontraríamos la verdad… Pero debemos tener cuidado de no publicar nuestros sueños antes de someterlos a prueba con la mente despierta.

FRIEDRICH AUGUST KEKULÉ

—Vamos ahora con el sombrero amarillo —anuncia Francesc mientras se pone algo parecido a una pamela de ese color—. Es el del pensamiento optimista, que nos orienta hacia lo factible y sus posibles beneficios. De alguna manera se complementa con el gris.

Con un rápido movimiento, se cambia el sombrero de playa chillón por uno de estilo vaquero de color azul, y lo presenta del siguiente modo:

—El sombrero azul es muy especial, porque nos centra en el control y la gestión del propio pensamiento. Dicho de otro modo: más que en crear ideas nuevas, interesa comprender cómo hemos llegado hasta las que tenemos.

—Considero que ese sombrero es muy útil —salta Mhob—, ya que a menudo el problema o error se halla en las gafas del observador.

—Los seis son útiles —concede Francesc—, ya que al ir cambiando «de cabeza» ampliamos nuestra paleta de colores a la hora de abordar una cuestión creativamente. Los seis sombreros son un gran antídoto contra la rigidez mental y la estrechez de miras.

—Te doy la razón —le digo entre bostezos—, pero yo me voy a poner ahora el gorro de dormir. ¡Acaban de dar las cuatro de la madrugada!

9
El oráculo de *Star Trek*

> La frase más excitante que se puede oír en la ciencia, la que conduce a nuevos descubrimientos, no es «¡Eureka!», sino «Esto es curioso…».
>
> ISAAC ASIMOV

BEATRICE RIENHOFF NACIÓ EN 2003 en California, Estados Unidos, pero ya desde bebé se evidenció que tenía un problema grave de salud. Con el paso de los meses no ganaba peso, ni podía extender los brazos y las piernas. Todo indicaba que sufría algún tipo de enfermedad genética. A pesar de recorrer innumerables hospitales y visitar médicos de todo el mundo, no pudo ser diagnosticada.

No disponer de un diagnóstico significa no tener opción a un tratamiento. Sin embargo, Hugh, el padre de la pequeña Beatrice, no estaba dispuesto a rendirse. Tras convertir el ático de su casa en un laboratorio, se dedicó en cuerpo y alma al estudio del código genético de su hija. Trabajó con más de 20.000 pares de bases de ADN de la pequeña hasta identificar 20 lugares en los que su ADN no correspondía con la referencia del genoma.

A pesar de estar todavía en mitad de su investigación, al menos Beatrice dispone ya de un tratamiento y su padre tiene la esperanza de sanar a su hija.

LO QUE ALGUIEN HA IMAGINADO, ALGÚN DÍA SE HARÁ REALIDAD

Ésta no es la única ocasión en la que los sueños, de la mano de la ciencia —en este caso, al servicio de la fuerza más potente: el amor—, consiguen que emprendamos un viaje del que no se puede volver sino transformado.

¿Cuántas veces hemos pensado que nuestros sueños son inalcanzables y pertenecen al mundo de la fantasía y no al de los hechos reales?

La frontera entre ambos es tan etérea como ilimitada la capacidad del ser humano. No pongamos fronteras a los que somos capaces de crear, pues la historia nos recuerda cómo casi todo aquello que la humanidad ha soñado, con el tiempo se ha ido consiguiendo.

Seguro que para los contemporáneos de Julio Verne, cuando escribió en 1865 *De la Tierra a la Luna*, la idea de viajar al espacio era una locura. Pero el 21 de julio de 1969 a las 2.59 hora internacional, el comandante Armstrong se convertía en el primer humano en pisar nuestro satélite.



Julio Verne imaginó un siglo antes un viaje a nuestro satélite.



Fotografía de Buzz Aldrin hecha por Neil Armstrong en 1969.

Luna llena vista desde la Tierra. Fotografía de Luc Viatour / www.Lucnix.be (CC BY-SA)
El escritor francés Julio Verne fotografiado por Nadar. ©Rue des Archives/PVDE
Buzz Aldrin caminando sobre la Luna, 20 de julio de 1969. ©NASA

El género de la ciencia ficción ha recurrido a los avances científicos para inspirarse y alimentar su fantasía. Pero esta relación no es unidireccional. También la ciencia ficción ha servido, en ocasiones, como inspiración para algunos desarrollos tecnológicos a los que hoy estamos acostumbrados.

El ingeniero Martin Cooper era fan de la famosa serie *Star Trek*. En un episodio vio cómo el capitán Kirk se comunicaba con su nave, el *Enterprise*, a través de un aparato inalámbrico. Al ver aquella escena, Cooper se levantó de su sillón y exclamó: «Yo quiero construir uno de esos».



Michelle Nichols, o la Teniente Uhura de *Star Trek*, en 1966. ©mptv Images

En 1973, en el departamento de comunicaciones de Motorola, el hombre de la fotografía realizaba la primera llamada en público desde el dispositivo que acababa de crear: el teléfono móvil.



Martin Cooper, inventor del teléfono móvil, con el prototipo DynaTAC de 1973. Fotografía de Rico Shen (CC BY-SA)

Está claro que *Star Trek* contó con unos guionistas bien documentados y con visión de futuro. Unos veinticinco años antes de la aparición del iPad, las *tablets* ya eran un útil común en el *Enterprise*.

Es sorprendente cómo realidad y ficción, tan a menudo, parecen sacadas de un mismo cliché.

TODO ESTO DE LA FÍSICA CUÁNTICA ESTÁ MUY BIEN, PERO… ¿PARA QUÉ SIRVE?

Mantengamos la cabeza en el mundo de los sueños, pero pongamos ahora los pies en el suelo.

Aterricemos…

Cuando hablamos de extrañas propiedades en la física cuántica nos centramos en explicaciones abstractas y filosóficas. Es lógico que sintamos que esta teoría se aleja de nuestro quehacer diario, que es imprecisa e incluso etérea. Es entonces cuando nos planteamos: pero en la práctica… ¿sirve para algo esto de la física cuántica?

Por supuesto, la respuesta es un SÍ en mayúsculas. Gran parte de nuestra tecnología, y más de un tercio de nuestra economía, se basa en los productos desarrollados gracias a lo que conocemos de la teoría cuántica. Y cuando hablamos de economía y de cifras, como puntualiza Antoine de Saint-Exupéry en *El Principito*, no podemos estar siendo más prácticos.

No es necesario adentrarse en un laboratorio o en un centro de investigación como el CERN, donde se aceleran partículas a velocidades cercanas a la de la luz y se recrean los instantes del origen del universo, para toparse con el legado de la teoría cuántica.

Con entrar en un centro comercial nos bastará.

LO NO CUANTIFICABLE TAMBIÉN EXISTE

> A los mayores les gustan las cifras. Cuando se les habla de un nuevo amigo, jamás preguntan sobre lo esencial del mismo. Nunca se les ocurre preguntar: «¿Qué tono tiene su voz? ¿Qué juegos prefiere? ¿Le gusta coleccionar mariposas?». Pero en cambio preguntan: «¿Qué edad tiene? ¿Cuántos hermanos? ¿Cuánto pesa? ¿Cuánto gana su padre?».
>
> Solamente con estos detalles creen conocerle. Si les decimos a las personas mayores: «He visto una casa preciosa de ladrillo rosa, con geranios en las ventanas y palomas en el tejado», jamás llegarán a imaginarse cómo es esa casa. Es preciso decirles: «He visto una casa que vale quinientos mil dólares». Entonces exclaman entusiasmados: «¡Oh, qué preciosa es!».
>
> ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY, *El Principito*

Ponemos un pie frente a las grandes puertas de cristal y éstas se abren solas ante nosotros, como por arte de magia. Este fantástico fenómeno, al que estamos tan acostumbrados, se lo debemos al efecto fotoeléctrico.

En las puertas hay unas células fotoeléctricas, compuestas de láminas de material semiconductor, que actúan como sensores. Al interrumpir el haz de luz que llega a éstos, se activa un mecanismo eléctrico que produce la apertura de las puertas.

Supongamos que la primera tienda de este centro comercial es de electrónica. Allí encontraremos una fuente inagotable de productos que funcionan gracias al efecto fotoeléctrico. Podemos ver cómo algunos de los aparatos más caros están protegidos con alarmas que funcionan gracias a este fenómeno cuántico, igual que las alarmas de incendio que vemos en el techo. La lista se hace cada vez más larga al llegar a las cámaras digitales, a los sensores para encender la luz cuando oscurece, así como a la sección de calculadoras que se cargan con pequeñas placas solares fotovoltaicas.

Sigamos nuestro recorrido por el hipermercado cuántico… Llegamos a los reproductores de DVD, los lectores de CD, las impresoras láser, los ratones ópticos…, sin olvidar el pitido que provocan las dependientas al leer los códigos de barras.

Todos estos aparatos están basados en el láser, acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, una tecnología —basada en la emisión estimulada— que jamás se habría desarrollado sin antes haber sabido cómo manipular el mundo cuántico.

La aplicación de los láseres abarca desde la electrónica hasta la cirugía, pasando por la topografía o la industria militar.

No nos será difícil encontrar más tecnología cuántica por estas tiendas. Casi todo lo que nos rodea en este centro comercial utiliza uno de los inventos más importantes

del siglo XX: el transistor.

Sin él no se habría desarrollado la electrónica moderna, ni nuestro teléfono móvil, ni el portátil, el iPad, la radio, la televisión… Nada de todo esto existiría. ¡Los transistores están por todas partes!

Los transistores los podemos imaginar como un grifo electrónico. Son los que distribuyen y cuantifican la cantidad de corriente eléctrica en los circuitos. Este invento nació en los laboratorios Graham Bell en 1947 y fue el sustituto de las llamadas «válvulas de vacío». Estas últimas —parecidas a grandes bombillas— eran tan grandes como la palma de una mano, mientras que hoy en día un transistor ocupa una millonésima de milímetro.

Los primeros ordenadores, que funcionaban con válvulas de vacío, ocupaban salas enteras y eran tan caros que sólo tenían un uso militar.

Gracias a los transistores nacieron los chips —circuitos con muchos transistores —, que hicieron posible que esos gigantescos ordenadores cupiesen en un maletín.

Hoy en día, estos chips están presentes en otras máquinas que no son ordenadores, cambiando radicalmente aquello que tocan: se instalaron en un teléfono y éste pasó a ser un móvil, transformaron las cámaras analógicas en digitales, los tocadiscos en reproductores de MP3, los libros en e-books y los periódicos en iPads.

No existe producto industrial que no se haya visto transformado por esta milagrosa tecnología. Y todo ello… ¡gracias a la teoría cuántica!

Pero no sólo en el estricto campo de la electrónica vemos los frutos de esta estimulante teoría. También las imágenes por resonancia magnética que han revolucionado la medicina han sido fruto de los avances cuánticos.

Salimos del centro comercial conscientes del fundamento cuántico de nuestra vida actual.

Es el momento de volver a soñar, pues si empezar a desentrañar los misterios del mundo cuántico nos ha llevado hasta aquí, ¿hay alguna duda de que lo más fascinante es lo que está por venir?

SEGUNDA REVOLUCIÓN CUÁNTICA

Hoy en día no sólo comprendemos cómo está constituida la materia, sino que somos capaces de hazañas casi increíbles como manipular átomos individuales o descifrar códigos genéticos. Este dominio de la materia está cambiando nuestra visión del mundo y del ser humano.

La relación entre la cuántica y la biotecnología aumenta con rapidez. Sus implicaciones en medicina son prometedoras, por ejemplo, en la elaboración de radioterapias precisas gracias a puntos cuánticos (que *marcarían* la célula cancerígena evitando la destrucción de las células sanas).

Veamos unas pinceladas de los avances que surgirán de esta segunda revolución

cuántica.

Ordenadores cuánticos

La potencia de los ordenadores depende de cuántos chips puedan integrarse en un circuito. La ley de Moore, enunciada por el cofundador de Intel, Gordon Moore, en 1965, predice que la potencia de los ordenadores se duplica más o menos cada dieciocho meses.

El crecimiento es exponencial, algo a menudo difícil de imaginar, ya que nuestras mentes están acostumbradas a realizar cálculos lineales. Para ilustrarlo sólo hace falta que seamos conscientes de que un teléfono móvil que cualquiera de nosotros lleva en el bolsillo tiene mayor potencia que todas las computadoras utilizadas por la NASA al enviar por primera vez al ser humano a la Luna.

Sin embargo, este crecimiento de la ley de Moore tiene un límite: el instante en que los transistores lleguen a ser tan pequeños como un átomo. En ese momento las leyes más extrañas de la mecánica cuántica entrarán en juego. Los electrones empezarán a «tunelear» fuera de los cables causando constantes cortocircuitos, por ejemplo.

Es entonces cuando entran en la partida los ordenadores cuánticos.

Así como los ordenadores clásicos trabajan con los llamados *bits de información*: «0» *o* «1», como unidad básica de información, los ordenadores cuánticos trabajan en el mundo atómico con el equivalente cuántico: los *qubits*, que pueden estar en estados de superposición de «0» *y* «1».

Gracias a la capacidad de los qubits de operar en distintos estados a la vez, podemos realizar operaciones simultáneas superpuestas, como si tuviésemos nuestro ordenador computando en distintos universos al mismo tiempo, lo que permite llegar con mucha más rapidez al resultado final.

Una de las operaciones que con un ordenador cuántico se *resolvería* en un instante es el de la factorización.

Cada vez que hacemos una compra por internet, por ejemplo, y usamos nuestra tarjeta de crédito, la información de ésta se codifica para que nadie pueda hacerse con nuestros datos. La factorización es la base para esta codificación. Factorizar un número pequeño es relativamente sencillo: el 12 es un producto del 3 y el 4. Sin embargo, con números grandes el problema cambia sustancialmente. Si pedimos a un ordenador que nos factorice un número de cien dígitos, puede tardar un siglo en realizar el cálculo.

Pero éste no sería un reto para un ordenador cuántico.

El poder de descodificar información sería muy atractivo para el servicio de inteligencia de cualquier país, como podréis imaginar, y los ordenadores cuánticos están cerca de hacerse realidad. Ya no son una quimera de ciencia ficción.

Actualmente hay diversos centros de investigación que ya realizan cálculos con

ordenadores cuánticos: desde el MIT, donde trabaja Seth Lloyd, hasta el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, dirigido por el español Ignacio Cirac.

Sin embargo, las operaciones que se han conseguido realizar con estos ordenadores cuánticos son todavía básicas, pese a ser un campo de investigación que está avanzando más rápido de lo esperado.

En la Universidad de Waterloo, por ejemplo, han conseguido manipular 12 qubits, el equivalente a unos 1.000 bits clásicos o a un ordenador de los años cincuenta. Esta cifra puede sonar desmoralizante, pero tan sólo necesitaremos llegar a manipular entre 60 o 70 qubits para tener un ordenador cuántico con mayor capacidad de computación que todos los ordenadores del mundo juntos.

Hoy en día, los ordenadores cuánticos ocupan, del mismo modo que lo hicieron sus antecesores, habitaciones enteras. El gran reto al que se enfrenta la tecnología cuántica es nuestra ya conocida decoherencia: conseguir preservar los frágiles estados cuánticos para poder operar con ellos sin que se destruyan por el mero contacto con el entorno.

Estas nuevas aplicaciones tecnológicas pueden suscitar miedos como: ¿qué ocurrirá entonces con nuestra información confidencial?, ¿quedará al alcance de aquellos que dispongan de un ordenador cuántico?

Dice el refrán: «Hecha la ley, hecha la trampa». Gracias a la física cuántica existe también un nuevo sistema de encriptación, que, a diferencia de la encriptación clásica, basada en la factorización, es totalmente seguro.

Criptografía cuántica

La física cuántica nos permite codificar información de un modo seguro utilizando sus extrañas propiedades. Existen distintos protocolos de encriptación cuántica, pero nos centraremos en los dos originales: el BB84 y el Ekert91.

El protocolo BB84 (llamado así por sus creadores, Bennett y Bassard) utiliza con audacia el principio de superposición y colapso de función de onda, es decir, el extraño fenómeno de que lo observado es modificado cuando alguien observa.

Imaginad que Alicia quiere compartir un mensaje secreto con Bob. Temerosa de que Eva, una amiga envidiosa, quiera enterarse del contenido de su mensaje, decide enviarle una clave a Bob —un código que les servirá como alfabeto— para poder comunicarse libremente y sin que nadie les entienda.

Si Alicia utilizase un canal de comunicación clásico, como una paloma mensajera, señales de radio, etcétera, correría el peligro de que Eva interceptase dicha clave. A partir de ahí, Eva interpretaría sin dificultad los mensajes que Alicia compartiese con Bob.

Todo cambia si Alicia utiliza las propiedades del mundo cuántico. Ella codificará la información en una partícula cuántica. De ese modo, en el supuesto de que Eva intercepte el mensaje, por el simple hecho de observarlo —o medirlo— estará

modificando el estado de la partícula y, por lo tanto, destruyendo la clave original.

En cuanto la clave interceptada por Eva llegue a manos de Bob, podrá darse cuenta de que alguien ha observado la clave antes que él. Eva habrá quedado al descubierto.

Lo único que deberán hacer Alicia y Bob es descartar esa clave y seguir intentándolo hasta cerciorarse de que Eva no ha interceptado una de las claves. Una vez lo consigan, ya tendrán una clave segura y podrán comunicarse libremente, pues sólo ellos dos tendrán el alfabeto para interpretar sus símbolos.

El protocolo Ekert91 utiliza otro fenómeno de la física cuántica: el entrelazamiento.

En esta ocasión, para evitar que Eva intercepte su clave, Alicia utilizará el par EPR para reproducir el proceso de teleportación.

Al teleportar la clave secreta a Bob nadie podrá interceptarla, pues ésta no se envía a través de ningún canal, sino que la información «aparecerá» directamente en manos del receptor.

En las próximas líneas describiremos con más detalle cómo funciona la teleportación cuántica mediante el entrelazamiento.

Pese a que la encriptación cuántica nos parezca de ciencia ficción, ya existen en la actualidad empresas que se dedican a comercializar estos servicios, por ejemplo, Id Quantique, que se originó en la Universidad de Ginebra. En las elecciones suizas de 2007 ya se utilizó el modelo cuántico de encriptación para garantizar la seguridad del voto.

Teleportación cuántica

Desaparecer en un sitio para aparecer en otro, sin pasar por ningún lugar entremedio, es algo que ya existe en el imaginario colectivo; en gran medida, gracias a la ciencia ficción. ¡Cuánto habremos soñado olvidar coches, aviones y cualquier otro medio de transporte! A muchos nos vendrá a la memoria la mítica frase de *Star Trek*: «*Beam me up, Scotty*».

Pese a que teleportar seres humanos es algo aún restringido al mundo de los sueños, la teleportación cuántica para partículas subatómicas es ya una realidad.

En 1993, un grupo de investigadores presentaron las bases teóricas para realizar este sueño mediante las propiedades del mundo cuántico. Cuatro años más tarde, el grupo del reconocido físico austríaco Anton Zeilinger realizaba la primera teleportación con fotones (partículas de luz).

Existen algunas diferencias notables entre la teleportación cuántica y la que vemos en *Star Trek*, donde unas máquinas psicodélicas escanean al sujeto que va a teleportarse con el fin de reconstruirlo en el lugar deseado.

Aquí es donde la mecánica cuántica nos pone el primer freno. El principio de incertidumbre de Heisenberg nos advierte de que no podemos conocer con exactitud

la posición ni la velocidad. Eso nos impide escanear a la perfección algo o alguien para poder reproducirlo más tarde.

La teleportación cuántica elude esa dificultad mediante el entrelazamiento.

Imaginemos que Alicia está en la Tierra y tiene un objeto que desea teleportar (en la práctica debería reducirse a unos pocos átomos, pero para el ejemplo usaremos el término «objeto») hasta la estación espacial de Alfa Centauri, donde se encuentra su amigo Bob.

Alicia mezclará su objeto con un cóctel de partículas que está entrelazado con otro cóctel de partículas situado en la estación espacial de Bob. En un momento dado, este último grupo de partículas se habrá convertido en el objeto inicial. Teleportación conseguida[22].

Existen en este proceso diversos detalles que debemos puntualizar. El primero es que sólo teleportamos la información —o estado cuántico—, no la materia en sí misma. Necesitamos que Bob tenga ya su cóctel de partículas de la misma masa que el objeto que hay que teleportar.

El segundo es que tampoco se trata de un fotocopiador cuántico. No se produce ninguna copia del objeto que hay que teleportar, puesto que el original queda destruido al hacer la operación. Existe en mecánica cuántica un teorema que incide precisamente en esto: el de la *no clonación*, que nos prohíbe hacer una copia exacta de un objeto.

Realizar la teleportación con humanos es todavía ciencia ficción, pero su uso para encriptar información es la aplicación más inmediata.

Las tres leyes de Arthur C. Clarke

El género de ciencia ficción —sea en forma de películas, telefilmes o novelas— es mucho más que una evasión para mentes cansadas de la realidad cotidiana. Se trata de un campo de pruebas para liberar la imaginación y formularnos preguntas inesperadas que la mayoría de las personas sólo se conceden en la infancia.

A medida que crecemos, vamos dejando de cuestionar todo lo que nos rodea, mientras que los niños pequeños lanzan preguntas que a los adultos les parecen absurdas, pero que son fundamentales para explicar nuestra realidad, como: «¿Por qué el agua moja?», o bien «¿Por qué la Tierra es redonda?».

En el próximo apartado vamos a hablar de un hombre que nunca perdió la curiosidad infantil hacia todo lo que nos rodea, muy especialmente en aquello relacionado con la ciencia y el futuro de la humanidad.

El niño que trazó el mapa de la Luna

Nacido en un pueblo de la costa inglesa a finales de la Primera Guerra Mundial,

Arthur C. Clarke no sólo fue autor del libro que inspiró la película *2001: una odisea del espacio*. Con sus novelas de ciencia ficción y sus obras divulgativas estimuló a jóvenes que acabarían convirtiéndose en astronautas o en científicos. Empujó a millones de personas a hacerse preguntas sobre los enigmas del ser humano y el universo.

A la altura de iconos como Isaac Asimov, está considerado un maestro del género en el siglo XX.

Su pasión por la ciencia ficción se inició de niño, cuando se aficionó a revistas como *Astounding Stories of Super-Science*, que empezó a publicarse en Estados Unidos en la década de 1930. Durante su infancia, Arthur llegó a dibujar un mapa de la Luna con la única ayuda de un telescopio casero.

Tras sus estudios en matemáticas y física en el King's College de Londres, su apartamento de juventud llegó a ser la sede de la British Interplanetary Society.

En 1945 publicó un artículo esencial para el desarrollo de los satélites artificiales: «El futuro de las comunicaciones mundiales: ¿pueden las estaciones de cohetes proporcionar una cobertura de radio mundial?». De hecho, la órbita geoestacionaria fue llamada *Órbita Clarke* en su honor, y se le considera el inventor del primer satélite de comunicaciones.

Sus visiones tendrían una traducción a la realidad en 1957. Aquel año viajó a Barcelona para el Congreso Internacional de Astronáutica que coincidió con el lanzamiento del *Sputnik I*. Ya entonces vivía entregado a la divulgación científica, lo que le llevó, en la década de 1960, a ser el comentarista de la CBS de las misiones *Apolo*.

Sin embargo, el apogeo de su fama le llegaría en 1968, cuando publicó la novela homónima de la película de Stanley Kubrick, *2001: una odisea del espacio*, en la que había participado también como guionista.

En 1981 fue bautizado con su nombre el asteroide 4923, aunque él se lamentaba de que no hubiera sido elegido para el asteroide 2001, pero ya tenía nombre «asignado a un tal A. Einstein», en sus propias palabras.

Asimismo, Arthur C. Clarke nos dejó como legado tres leyes que se han vuelto muy populares entre los adeptos a la ciencia divulgativa.

Tres máximas sobre lo imposible

1. Cuando un anciano y distinguido científico afirma que algo es posible, probablemente está en lo correcto. Cuando afirma que algo es imposible, probablemente está equivocado.

A esta ley, el mismo Clark añadía la necesidad de definir «anciano». Según puntualizaba, en los campos de la física, las matemáticas y la astronáutica significa tener más de treinta años, mientras que, para otras disciplinas, la vejez llega mucho

más tarde; eso sí, exceptuando gloriosas excepciones.

Esta primera ley nos recuerda que debemos replantearnos el término «imposible». A menudo se trata de una barrera mental que nos impide ver más allá de nuestros prejuicios. La historia moderna está llena de pruebas que ponen en tela de juicio lo que en cada momento se consideraba «imposible»:

- Lord Kelvin, un físico y matemático presidente de la Royal Society, afirmó en 1895 que «máquinas voladoras más pesadas que el aire eran imposibles».
- Cuando propusieron a David Sarnoff's Associates, hacia 1920, que invirtiesen en la nueva industria de la radio, contestaron literalmente que «no tiene ningún valor comercial una caja de música sin cables, pues ¿quién pagaría por un mensaje que no va dedicado a nadie en particular?».
- «Poner a un hombre en un cohete, proyectarlo de manera controlada hasta el campo gravitatorio de la Luna, desde donde sus tripulantes puedan hacer observaciones científicas, e incluso aterrizar vivos en nuestro satélite y luego regresar a la Tierra…, todo eso forma parte de un sueño salvaje propio de Julio Verne. Soy lo suficientemente audaz como para decir que este tipo de viajes nunca serán posibles para el ser humano a pesar de todos los avances del futuro.»
- Estas palabras las pronunciaba Lee De Forest, pionero de la radio americana, en 1926. Unos años más tarde, en 1936, The New York Times publicaba la siguiente sentencia: «Un cohete jamás será capaz de salir de la atmósfera terrestre».
- El propio Arthur C. Clarke mencionó en el Reader's Digest de febrero de 2001 otro error garrafal de los pronosticadores de los tiempos modernos: «Nadie puede predecir el futuro. Todo lo que podemos hacer es perfilar posibles futuros (…) ya que cualquier predicción es susceptible de resultar absurda pocos años después. El ejemplo clásico es la declaración que hizo el presidente de IBM en la década de 1940. Dijo que el mercado para los ordenadores sólo daba para vender cinco unidades en todo el mundo, cuando yo tengo un número superior en mi propia oficina».

2. La única manera de descubrir los límites de lo posible es aventurarse un poco más allá, hacia lo imposible.

Un ejemplo de la veracidad de este segundo principio es la gesta realizada el 14 de octubre de 2012 por Felix Baumgartner. Este austríaco empezó a saltar en paracaídas a los dieciséis años y pronto empezó a aficionarse a lo imposible. Tras alistarse en las fuerzas especiales del ejército de su país, en 1999 batió el récord del salto humano más alto al arrojarse desde lo alto de las torres Petronas, en la capital de Malasia.

Después de romper muchos otros límites, Baumgartner albergó un proyecto que parecía a todas luces imposible: romper la barrera del sonido en caída libre y sin ningún apoyo mecánico. Para ello era necesario batir un récord que parecía inamovible desde hacía cincuenta y dos años, cuando el estadounidense Kittinger se lanzó desde 31.333 metros. En cuanto al vehículo para ascender, el globo tripulado que había alcanzado la mayor altitud era 34.668 metros, pero su piloto jamás hubiera osado saltar desde tal altura.

Para lograr su proeza, Baumgartner tuvo que batir ambos récords. Subió con un globo de helio —con un grosor de apenas 0,02 milímetros— hasta 39.045 metros. A esa altura, tras salir fuera de la atmósfera, se le congeló el visor al instante, lo que le hizo dudar del salto. Finalmente se arrojó desde la negrura cósmica a la Tierra, cayendo a una velocidad de hasta 1.342 kilómetros por hora, con lo que los giros de su propio cuerpo se volvieron incontrolables. Tras estar a punto de desmayarse, logró abrir el paracaídas. 4 minutos y 36 segundos después de su salto imposible, volvía a tener los pies sobre la tierra.

Vivito y coleando, en su página web colgó el lema: «Todo el mundo tiene límites, pero no todo el mundo los acepta».

3. Cualquier tecnología lo suficientemente avanzada es indistinguible de la magia.

¿Qué habría pensado un hombre de las cavernas si, hallando un atajo en el tiempo, le llegara un móvil con el que hablar con alguien a miles de kilómetros de allí? Al desconocer este tipo de tecnología, pensaría estar asistiendo a un acto de pura magia.

Una situación así es el argumento de la película cómica *Los dioses deben de estar locos*, en la que un bosquimano que nunca ha tenido contacto con la civilización occidental ve caer del cielo una botella de Coca-Cola que ha arrojado el piloto de una avioneta. Como no ha visto nunca un objeto así, entiende que es un «regalo de los dioses», lo cual acaba generando infinidad de conflictos en la aldea donde vive.

Sobre la conocida frase de Clarke, un personaje del cómic *Girl Genius*, Agatha Heterodyne, exclama:

> Cualquier magia lo suficientemente analizada es indistinguible de la ciencia.

Merece la pena que nos detengamos ante esta reformulación del aforismo, ya que nos recuerda que muchos fenómenos que han sido atribuidos a la magia, si se estudian en profundidad, tienen una explicación científica.

ILUSIONES DE LA CIENCIA FICCIÓN

El género que popularizó Clarke nos invita a atravesar los límites de lo posible. Sin embargo, en aras del entretenimiento, a menudo estas novelas y películas priorizan lo especulativo y visual, dejando de lado el rigor científico. Grandes clásicos de la ciencia ficción violan las leyes de la física, como veremos más adelante.

El lado positivo de estos «errores científicos» es que nos permiten corregirlos y aprender física de manera divertida, a la vez que desarrollamos el espíritu crítico.

Veamos algunos de los errores científicos más comunes en este género que hizo furor en la segunda mitad del siglo XX.

• *Guerras intergalácticas*. En *Star Wars* y en muchas otras películas oímos explosiones en las batallas que se producen en el espacio, con grandes llamaradas al desintegrarse las naves.

PRIMER ERROR: el sonido necesita un medio o partícula de materia para propagarse. Es por eso que el espacio, al ser vacío, es totalmente silencioso. Pocas películas han sido fieles a esta ley, pero aquí podemos destacar la influencia de Arthur C. Clarke sobre Kubrick al rodar *2001: una odisea del espacio*. Lo único que se oye en las escenas que tienen lugar en el espacio es la respiración del astronauta dentro de su traje y la música clásica que acompaña a las imágenes.

SEGUNDO ERROR: las explosiones en el espacio no pueden producir llamas de fuego, puesto que al no haber oxígeno no se pude generar la combustión.

• *Hombres menguantes e insectos gigantes*. Todos los que sufran de aracnofobia y hayan tenido pesadillas con arañas gigantescas, como era el caso de Ron, el infatigable amigo de Harry Potter, pueden descansar tranquilos. La ley cuadrada-cúbica de Galileo impide que estas monstruosidades puedan campar a sus anchas.

LAS FRUTAS Y LA LEY CUADRADA-CÚBICA

Si duplicáramos el tamaño de una pera, su peso aumentaría ocho veces. Por otro lado, la resistencia del pedúnculo —el rabillo que sostiene la pera colgando del árbol— aumentaría cuatro veces al doblar el tamaño de la fruta. Es por eso que las peras crecen en los árboles y las sandías lo hacen en el suelo.

El mismo Isaac Asimov reconoció los errores que cometió en *Un viaje alucinante*, donde un submarino y su tripulación se reducen diecisiete millones de veces, hasta el tamaño de una bacteria, para ser inoculados en el torrente sanguíneo de un paciente. A esa escala microscópica, por ejemplo, las moléculas de aire serían para los diminutos tripulantes del submarino como balones de baloncesto. ¿Cómo

iban a respirarlas?

En el caso de nuestra araña, sus patas serían incapaces de soportar el peso de su cuerpo, al menos en la Tierra, ya que la fuerza gravitatoria de nuestro planeta las aplastaría.

• *Fuerzas gravitatorias de los planetas*. La gravedad en los distintos mundos es otra cuestión que no siempre se tiene presente en la ciencia ficción. Del mismo modo que la Luna tiene una gravedad unas seis veces menor que la Tierra, con lo que los astronautas de Tintín dan saltos formidables, los humanos deberían moverse con mayor dificultad en planetas con una masa superior al nuestro.

Este detalle se respeta en los dibujos animados de *Bola de Dragón*, donde Son Goku se entrena en instalaciones que alteran el campo gravitatorio para poder luchar con agilidad en planetas extraterrestres.

• *¿Hay academias de idiomas en Marte?* No deja de ser curioso que los extraterrestres, aunque vengan de los confines del universo, suelan hablar un inglés perfecto. Aunque, por supuesto, esto no contradice las leyes de la física.

En la hilarante novela *Guía del autoestopista galáctico*, de Douglas Adams, esta dificultad se soluciona cuando el protagonista se ve forzado a colocarse el denominado «Pez de Babel» en el oído para comprender otros idiomas de la galaxia.

10
Elemental, querido Quark

Y dijo Dios: sea la luz; y fue la luz.

GÉNESIS 1 - 3

ES UNA MAÑANA GRIS Y BRUMOSA cuando el avión de Swiss International atraviesa los Alpes en su trayecto de Barcelona a Ginebra.

Aviso a Francesc, sentado a mi lado, para que pueda disfrutar de la extraordinaria vista de las montañas.

—Es precioso, ¿verdad? —le digo señalando por la ventanilla el pico del Mont Blanc.

Nos distrae bruscamente la visión de otro avión que pasa relativamente cerca de nosotros y deja un largo rastro blanco en la atmósfera.

—De niño me entretenía observando las largas colas de humo que dejan los aviones en el cielo —me cuenta Francesc.

—Estas largas colas, como tú las llamas, no están formadas por humo —le explico—. El agua de la atmósfera está «subenfriada», se encuentra en lo que llamamos un «equilibrio inestable». El avión, al atravesarla, altera su equilibrio y el vapor se condensa dejando estas estelas blancas.

Las azafatas nos interrumpen para servirnos el almuerzo. Un té y un pequeño sándwich. Hemos madrugado tanto que se agradece un tentempié. Una vez repuestas las fuerzas, prosigo con mi explicación:

—Los primeros detectores de partículas funcionaron de un modo similar a estas estelas de avión que hemos visto. Se llamaban cámaras de niebla. Su nacimiento fue, en gran medida, por una afortunada casualidad. Un físico escocés, Charles Thomson Rees Wilson, realizaba estudios sobre la formación de nubes en el monte Ben Nevis, la mayor elevación del Reino Unido. Enfrascado en sus investigaciones sobre las nubes, desarrolló un dispositivo para recrear las condiciones atmosféricas del pico de la montaña en su laboratorio de Cavendish. Creó una cámara de nubes artificiales.

—Vamos, que se cansó de tantas excursiones de altura. Y… ¿funcionó bien su invento?

—No sólo funcionó genial, sino que tuvo un inesperado y feliz resultado. Cuando Wilson bombardeó la cámara con una partícula alfa[23] para manipular sus nubes, ésta dejó un rastro de burbujas, igual que las estelas de condensación de los aviones. Las partículas que Wilson utilizaba, a diferencia de los aviones, son tan pequeñas que no se pueden ver a simple vista, pero gracias al rastro de las burbujas pudo deducir

exactamente por dónde pasaban y, además, corroborar la existencia de estas partículas. Junto con Compton, recibió el Premio Nobel dieciséis años más tarde de haber presentado su primera cámara de niebla, en 1911.

—Y lo que veremos en el laboratorio gigante al que vamos es una versión avanzada de lo que desarrolló Wilson, ¿es así?

—Un poco diferente pero con el mismo objetivo: comprender qué forma todo aquello que nos rodea en el cosmos y qué lo mantiene unido.

Faltan unos minutos para llegar al aeropuerto de Ginebra. Seguimos las indicaciones de las azafatas y nos preparamos para el aterrizaje.

Diez minutos más tarde, en la terminal de salidas me reencuentro con un viejo conocido: un panel que ya me llamó la atención en mi época de *technical student* en este gigantesco centro de investigación:

CERN: DONDE NACIÓ LA WORLD WIDE WEB

Una fina llovizna empieza a caer cuando tomamos un taxi con destino al acceso, que se encuentra a unos ocho kilómetros.

Tras pagar el equivalente a cincuenta euros en moneda suiza al conductor, en la garita de control nos entregan nuestra acreditación. Con ella podremos movernos libremente por esta ciudad consagrada al experimento más grande jamás realizado por la humanidad: reproducir el nacimiento de nuestro universo.

CUATRO FOTOGRAMAS DEL BIG BANG

Los tres primeros minutos del Universo, el poético ensayo divulgativo del Nobel de Física Steven Weinberg, plasma en cinco «fotogramas» el grandioso espectáculo que supusieron los tres primeros minutos del universo.

PRIMER FOTOGRAMA. Una centésima de segundo después del Big Bang, la temperatura se enfrió hasta unos 100.000 millones de grados Kelvin. El universo era entonces una «sopa» de materia y radiación con una densidad masa-energía 3.800 millones de veces mayor que el agua en la Tierra.

SEGUNDO FOTOGRAMA. 0,11 segundos después del primer fotograma, la temperatura ha bajado a «sólo» 30.000 millones de grados Kelvin.

TERCER FOTOGRAMA. Nos encontramos en el segundo 1,09 y la

temperatura es de 10.000 millones de grados Kelvin. Los neutrinos y los antineutrinos se desacoplan progresivamente de la radiación. La densidad de la energía es ahora sólo 380.000 veces mayor que el agua.

CUARTO FOTOGRAMA. 13,82 segundos después de la explosión, la temperatura ha bajado ya a 3.000 millones de grados Kelvin. El universo es suficientemente frío para que se empiecen a formar núcleos estables como el del helio común.

QUINTO FOTOGRAMA. Han pasado 3 minutos y 2 segundos en total. La temperatura es ahora de 1.000 millones de grados (70 veces la de nuestro Sol).

El universo continuará su expansión y enfriamiento los 700.000 años siguientes, en los que se crearán galaxias y estrellas.

10.000 millones de años más tarde, los seres humanos recrearán los primeros 3 minutos del universo.

EL ZOO MÁS PEQUEÑO DEL MUNDO

La cafetería del CERN es muy parecida a los *self services* de las universidades. Después de escoger dos sándwiches vegetales y un par de refrescos, nos dirigimos con Francesc a la cola que se ha formado frente a la cajera.

—Entonces, ¿fue con las cámaras de niebla cuando se descubrieron los quarks de los que me hablaste en nuestra última excursión? —pregunta mi amigo.

—¡Qué va! Te adelantas unos cuantos capítulos… Aquello sólo fue el inicio de un largo viaje. Gracias a los primeros detectores se hallaron nuevas partículas que provenían de los rayos cósmicos, pero no fue hasta 1940, cuando se crearon los primeros aceleradores de partículas, que la cosa se puso interesante. Empezaron a surgir más y más partículas distintas: electrones, protones, neutrones, muones, kaones, piones, lambda, khi, omega…

—Vas a recitar todo el abecedario griego… ¡Vaya zoo!

Después de pagar a la cajera, nos dirigimos a una mesa redonda de la cafetería. Allí prosigo con mi explicación:

—Cierto. Durante un tiempo hubo un poco de caos dentro del campo de la física de partículas. A mediados de los sesenta ya se conocían casi dos centenares de partículas diferentes. Como bien has dicho, la cosa se parecía a un desordenado zoo cuántico. Recuerdo una anécdota del físico Enrico Fermi… Cuando un estudiante le

preguntó por el nombre de una de estas partículas en concreto, le contestó algo así como: «Joven, si fuese capaz de recordar el nombre de todas esas partículas, me habría hecho botánico».

—No me extraña —dice Francesc—. Este panorama se aleja un poco de la idea original de Demócrito: encontrar el «átomo», entendido como la última partícula indivisible… Pero pensaba que ya habíamos aclarado que la última matrioska eran los famosos quarks de Gell-Mann.

—Estás adelantando acontecimientos, pero vas en buena dirección. Fue precisamente en este caótico zoo donde Gell-Mann aportó orden al introducir los quarks que tanto te gustan. Entre los centenares de distintas partículas, muchas de ellas estaban compuestas por piezas más pequeñas que se bautizaron como quarks, lo que simplificó el puzle.

—Me encantó la anécdota que leí en *Quantic Love* de por qué Murray Gell-Mann los llamó quarks. Encontró esta palabreja en una novela incomprensible de James Joyce titulada *Finnegans Wake*. El pasaje decía algo así como: «*Three quarks for Muster Mark! Sure he has not got much of a bark. And sure any he has it's all beside the mark*[24]».

—¡Muy bien, Francesc! —digo mientras le golpeo suavemente el hombro—. Con sus quarks, Murray consiguió clasificar todas estas partículas e incluso predecir algunas que todavía no se habían encontrado. Al principio sólo había tres quarks, como reza la cita, pero en el año 74 se añadió un cuarto.

—Entonces, Gell-Mann tampoco había conseguido el objetivo de simplificarlo todo en una sola partícula…

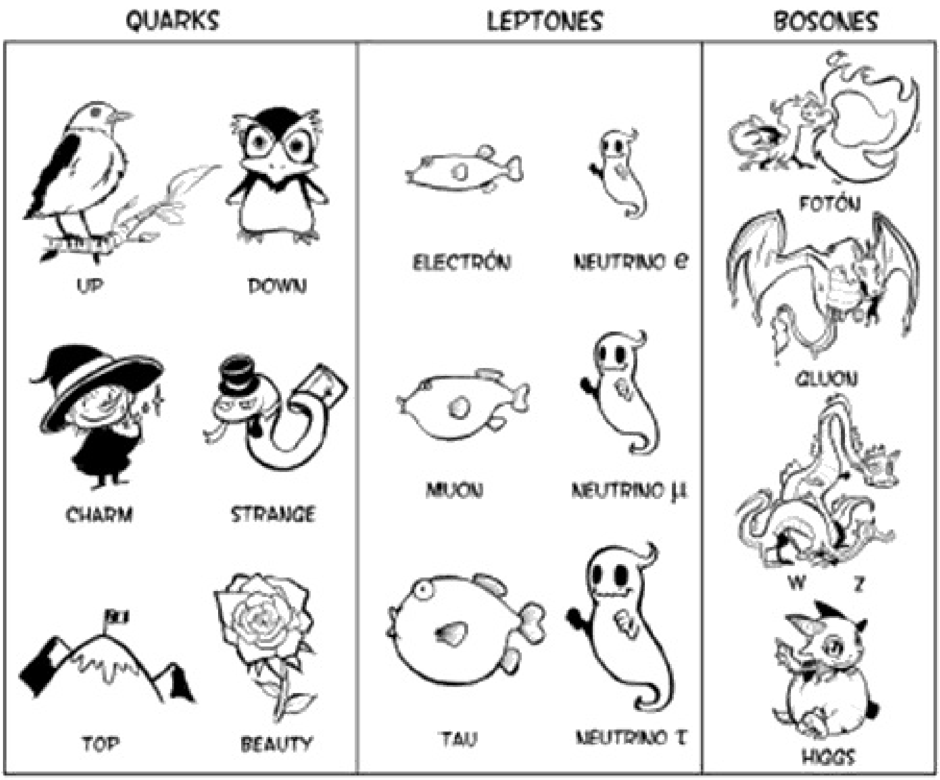
—Ni mucho menos. Finalmente todo esto desembocó en lo que se conoce hoy en día como Modelo Estándar, que pretende explicar la materia y las fuerzas que existen en la naturaleza. Menos la gravedad, que no puede explicarse con este modelo[25], explica el resto de las fuerzas: la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil. La materia está formada por quarks *y* leptones (partículas como el electrón), mientras que las partículas portadoras de las fuerzas son los llamados bosones.

Saco mi portátil y le enseño un cuadro a Francesc.

—Aquí está toda la familia de partículas. Seis tipos de quarks, seis leptones distintos y hasta cinco bosones, incluyendo en este último grupo el famosísimo bosón de Higgs.

Francesc acerca la cabeza a una columna de tres neutrinos disfrazados de fantasmas y, asombrado, exclama:

—¡Los malditos neutrinos! Éstos son los que la liaron no hace mucho, ¿no? Recuerdo que, durante unos meses, la prensa especuló que podían haber superado la velocidad de la luz.



Las tres generaciones del Modelo Stanbord.

© Marisa Martínez

—Sí, los neutrinos han llevado de cabeza a los físicos desde que en 1930 Pauli predijese su existencia. Y eso que los neutrinos, en palabras de su codescubridor, Reines, «no son nada, o casi nada, son la cantidad de realidad más diminuta jamás imaginada por un ser humano». Yo siempre los ilustro como diminutos fantasmas, pues casi no interaccionan con nada. De hecho, mírate el pulgar.

Francesc me hace caso y se mira la mano obedientemente.

—Ahora mismo… —prosigo— cada segundo atraviesan tu pulgar miles de millones de neutrinos.

—¡Pues no noto nada!

—Como ya te dije, casi no interaccionan con nada. De hecho, aparte de ti, pueden atravesar la Tierra sin problema.

—¿Y de dónde vienen estos neutrinos?

—Una parte de ellos vienen del Sol y nos atraviesan de día y de noche. También proceden de los rayos cósmicos y del Big Bang, desde el origen del universo, así como de reacciones que hay en la Tierra. Incluso nosotros mismos somos una fuente de neutrinos.

—¡Eso no lo hubiese imaginado nunca! ¿Yo te estoy enviando neutrinos?

—Así es. El cuerpo humano posee aproximadamente veinte miligramos de Potasio 40, que es beta-radiactivo y produce millones de neutrinos al día, que emergen de nuestro cuerpo a velocidades cercanas a la de la luz y transmiten una señal de tu existencia por todos los recodos del cosmos…

—¡Cómo molan los neutrinos!

—Volviendo a la velocidad de los neutrinos… Como me comentabas, en septiembre de 2011 un grupo de científicos del proyecto OPERA obtuvo un resultado sorprendente. La velocidad en la que los neutrinos recorrían los 730 kilómetros que separan el CERN, en Ginebra, del detector que hay en el Gran Sasso, Italia, era 60 nanosegundos más rápida de lo que lo hubiese hecho la luz en el vacío.

—Y eso, según Einstein, está prohibido. Nada puede viajar más rápido que la luz.

—Nada que tenga información puede moverse más rápido de lo que la luz lo hace en el vacío. Finalmente, se demostró que los neutrinos no se habían saltado este límite de velocidad cósmico. Fue un error en la medición.

—Una pena, supongo que las implicaciones hubieran sido tremendas —comenta mi amigo.

—Cierto, esto habría supuesto un nuevo cambio de paradigma. Pero, finalmente, el llamado experimento Ícaro finiquitó el asunto. Los neutrinos son raros, pero no violan la relatividad de Einstein.

—Así que Ícaro fue el aria final de OPERA.

SIN PARTÍCULAS NO HAY COSMOS

Marco Polo describe un puente, piedra por piedra.

—Pero ¿cuál es la piedra que sostiene el puente? —pregunta Kublai Khan.

—El puente no está sostenido por esta piedra o por aquélla —responde Marco—, sino por la línea del arco que ellas forman.

Kublai permanece silencioso, reflexionando. Después añade:

—¿Por qué me hablas de las piedras? Lo único que importa es el arco.

Polo responde:

—Sin piedras no hay arco.

ITALO CALVINO, *Las ciudades invisibles*

QUE LAS FUERZAS TE ACOMPAÑEN

Me doy cuenta de que Francesc está observando en silencio a través del ventanal de la cafetería. Tiene la vista fija en un parterre del jardín sobre el que descansa un

enorme tubo —como los del acelerador de 27 kilómetros de circunferencia que están a unos cien metros bajo tierra— con la inscripción:

CERN: ACELERANDO LA CIENCIA

—Te he aburrido con mis largas explicaciones, ¿verdad?

—¡Qué va! —reacciona Francesc enseguida—. Al contrario. De hecho, me ha surgido una duda, Sonia: ¿por qué se ha construido una máquina tan gigantesca como este acelerador que tenemos bajo nuestros pies? ¿Hace falta algo tan grande para perseguir a unas partículas tan enanas?

—En el LHC[26], los científicos pretenden recrear los instantes iniciales de nuestro universo. El momento en que empezó todo. A mí me gusta pensar que es como una gigantesca máquina del tiempo. Con el acelerador de partículas y sus colisiones podemos reproducir lo que sucedió a menos de una milmillonésima fracción de segundo después de la «gran explosión». —Justo entonces, como para ilustrar el momento, se oye un estruendo de platos rotos en la cocina—. El objetivo es ambicioso: comprender cuáles son los constituyentes de la materia, las fuerzas que mantienen unidas a las partículas y cómo se organizan para crear desde la madera de esta mesa a nosotros mismos o los cientos de miles de trillones de estrellas de nuestro universo.

—Pero… ¿por qué hay que volver casi quince mil millones de años atrás para explicar eso? Podéis analizarme a mí para saber de qué estoy hecho. Ya lo he decidido: me dono a la ciencia.

—Un ofrecimiento muy generoso por tu parte —le digo entre risas—. Pero la ventaja de volver hacia atrás en el tiempo es que, en sus inicios, el universo era mucho más simple de lo que es ahora.

—Entonces, nosotros mismos, la complejidad de nuestro cerebro o del mundo que nos rodea, ¿es debido a la vejez del universo? —pregunta Francesc.

Asiento con la cabeza. Me gusta su idea, pues no puedo evitar asociar la vejez con la sabiduría.

—Una vez escuché al divulgador científico Brian Cox hacer una metáfora muy bonita al respecto. Seguro que alguna vez has dejado caer un copo de nieve en la palma de tu mano. Al observarlo de cerca, descubres unas formas hermosas y complejas. Pero cuando el calor de tu cuerpo lo derrite, se transforma en una diminuta gota de agua. Básica y sencillamente, H2O. Por eso miramos atrás en el tiempo: para volver a la sencilla agua primigenia que derivó en el gran copo de nieve, hermoso y complejo, que es ahora el universo.

Francesc echa una ojeada a mi sándwich casi intacto. Con tanta charla, me he olvidado de almorzar.

—Hazle un poco de caso a ese bocadillo —me dice—, creo que en unos minutos empieza nuestra visita guiada.

Mientras termino a toda prisa lo que queda del sándwich, me fijo en que Francesc

está nuevamente absorto en sus propias cábalas.

—Un penique por tus pensamientos.

—Pensaba en el Modelo Estándar —confiesa mi amigo—. Entiendo que la materia está formada por partículas, quarks y leptones, pero ¿para qué sirven concretamente los bosones?

—Qué bien, pensaba que ya estabas harto de tanta partícula… Cualquier fuerza se entiende como la interacción entre partículas con masa, constituidas por quarks o leptones. Los responsables de esta interacción son los bosones.

—No estoy seguro de entenderlo.

—La fuerza electromagnética, por ejemplo, es la que mantiene unidos los átomos y las moléculas.

—Y la responsable de que no atraviese la silla en la que estoy sentado —añade Francesc—. Recuerdo tu explicación en nuestro viaje de Solvay.

—¡Exactamente! Esta fuerza es además la base de la luz, los rayos X, las microondas, las ondas de radio, etcétera. Pues la partícula intermediadora de esta fuerza es el fotón.

—¿La partícula de la luz?

—Así es. El fotón puede ser absorbido o radiado por cualquier partícula con carga.

—¿Y emitir o absorber un fotón da como resultado la fuerza electromagnética?

—¿Qué tal se te da el patinaje sobre hielo? —le pregunto de repente.

—Pues no soy precisamente un *crack* de la pista…

—Imagínate que estamos los dos, uno frente al otro, en una pista y con nuestros patines puestos. Yo tengo una gran pelota de baloncesto que te lanzo con todas mis fuerzas. Cuando tú la recibas, ¿qué te sucederá?

—Con el impacto del balón me deslizaré hacia atrás.

—Para ser precisos, también yo me deslizaré un poco hacia atrás, así que nos separaremos, como si una fuerza repulsiva actuase sobre nosotros. Volviendo al mundo cuántico, ahora imagina que tú y yo somos dos partículas cargadas del mismo signo y el fotón, como el balón, hace que nos alejemos.

Francesc calla a la espera de que complete la metáfora.

—Imagina ahora que somos dos partículas de distinta carga. En vez de lanzarte un balón, te doy el extremo de un muelle que yo estoy sujetando. En este caso te atraería hacia mí, es decir, tendríamos una fuerza atractiva. Pues bien, así es como actúan los bosones: son los balones y los muelles de la pista de hielo cuántica. En algunos casos provocan la atracción entre partículas y en otros, la repulsión.

En aquel momento pasa junto a nosotros, en la cafetería, una guapa estudiante con una camiseta con un átomo en el medio. En el núcleo, sin embargo, hay un corazón en lugar de protones y neutrones.

—Gracias a ese mecanismo los átomos se mantienen unidos… —continúo para recuperar su atención—. La fuerza responsable de que los protones y los neutrones se

mantengan unidos en los núcleos atómicos es la nuclear fuerte. Y los intermediarios de esta fuerza son los bosones llamados gluones. No en vano, su nombre viene del inglés *glue*, que significa pegamento, pues estas partículas son las que mantienen «enganchados» a los quarks para que formen los protones y neutrones.

Francesc cavila un momento antes de preguntar:

—Y la fuerza nuclear débil, entonces, ¿qué diablos es?

—Esta fuerza flacucha es la más compleja de explicar. Es la que interviene cuando las partículas se desintegran o decaen, por ejemplo, cuando los protones se transforman en neutrones. Cuando un muón, por ejemplo, cambia de tipo para ser un electrón, decimos que ha cambiado de sabor.

—Hablando de sabores… este sándwich no sabe a nada. ¿Serán así los que toman los astronautas de la NASA?

—Ni idea. Bueno, ahora ya casi conoces a la familia de partículas que forman el Modelo Estándar. Los seis quarks, los seis leptones y los bosones responsables de las tres fuerzas. Pero nos falta la gran estrella de estas instalaciones: el bosón de Higgs. Pero creo que tendremos que dejar esta presentación para más adelante… ¡Ahí llega nuestro guía!

Justo en ese momento entra Mirko, un buen amigo de mi etapa de *technical student* que ahora dirige el centro de operaciones del LHC. Él va a ser nuestro guía en esta visita al CERN.

—¿Habéis venido a conocer las instalaciones o sólo os interesa la cafetería? Poneos las pilas, chicos, ¡el *show* empieza en cinco minutos!

EL MAYOR EXPERIMENTO DEL MUNDO

Nos dirigimos con Mirko hacia uno de los edificios que alberga, a unos cien metros bajo tierra, uno de los cuatro colosales detectores del LHC. Para ello tenemos que cruzar los pasillos laberínticos del edificio central del CERN, donde se encuentran los caóticos y desordenados despachos de los físicos teóricos.

En el trayecto, nuestro guía y amigo aprovecha para resumirnos la historia de este gran centro de investigación.

—El CERN se fundó en 1945 para fomentar la investigación fundamental en Europa y así frenar la emigración de los científicos hacia Estados Unidos, que había aumentado por culpa de la Segunda Guerra Mundial. La primera misión es promover la investigación, resolver los enigmas de nuestro universo y ampliar las fronteras de la tecnología. Por otro lado, en este centro se promueve la colaboración entre científicos de todo el mundo. En el CERN se trabaja para unir a las distintas naciones gracias a la ciencia.

»Siempre me ha gustado resaltar el hecho de que el CERN no tiene ningún objetivo ni afiliación política o militar. Los resultados que se obtienen aquí se hacen

siempre públicos y están al alcance de todo aquel que esté interesado en estudiarlos.

—¿Cuál es el origen de su nombre? —pregunta Francesc mientras observa distraído a dos científicos que discuten frente a una pizarra llena de gráficos y fórmulas extrañas.

—Es el acrónimo del nombre inicial en francés del laboratorio: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire —le respondo al instante—. Aunque oficialmente el término «Conseil» se cambió por el de «Organización», se preservaron las siglas iniciales para conservar el nombre del CERN.

—Éste —prosigue Mirko— es el centro de investigación de partículas más grande del mundo. Y es aquí donde se ha construido el LHC, la joya de la corona. A unos 100 metros bajo tierra está el túnel de 27 kilómetros de circunferencia que alberga el acelerador. ¡La máquina más grande jamás construida!

—Y ése no es el único récord que ha conquistado el LHC —añado sonriendo—. Este acelerador es el circuito de carreras más rápido de nuestro planeta. A lo largo de estos 27 kilómetros, 9.300 imanes aceleran dos haces de protones, en direcciones opuestas, a velocidades cercanas a la de la luz. Trillones de protones dan más de 11.000 vueltas cada segundo al LHC hasta los puntos donde colisionan. Y en esas colisiones se recrean las condiciones iniciales de nuestro universo.

—¡Qué mareo! —exclama Francesc.

—Como os podéis imaginar, los del LHC no son imanes corrientes.

—Vamos, que no son como los que tengo en el frigorífico de casa —bromea Francesc.

—Pues no, pero no vas desencaminado, ya que precisamente quería hablarte de temperaturas gélidas. Aparte de ser la máquina más grande del mundo y el mayor circuito de carreras, el LHC también es el frigorífico más potente del mundo. Si en el Polo Sur, el sitio más frío de la Tierra, podemos tener temperaturas de unos 80 grados bajo cero, en el LHC llegamos a ¡271 grados bajo cero! Para conseguir esto, se utilizan unas 120 toneladas de helio líquido y otras 10.000 de nitrógeno líquido.

—Para poder maniobrar con total precisión los haces de protones —interviene Mirko—, utilizamos imanes llamados superconductores. Estos imanes consiguen transportar corriente eléctrica sin generar calor, pero tienen que funcionar a temperaturas tan bajas como los —271 °C. Es por eso que necesitamos que el acelerador sea tan frío. Y, puestos a hablar de récords, el interior de los dos tubos por donde viajan los haces de protones es el lugar más vacío del Sistema Solar, no puede haber ni siquiera aire.

—Estos haces —retomo la explicación de Mirko— que viajan en direcciones opuestas contienen protones. Si existiese cualquier tipo de partícula de gas en el tubo donde se aceleran los protones, chocarían contra éstas y se fastidiaría el experimento. Es por eso que los dos tubos por los que viajan los haces deben estar tan vacíos.

ATLAS: BUSCANDO A HIGGS DESESPERADAMENTE

Justo en ese instante llegamos frente a un hangar que alberga en su sótano, a unos cien metros bajo nuestros pies, el detector ATLAS. Éste es uno de los cuatro puntos del LHC donde los protones colisionan entre sí, dando lugar a explosiones que provocan el nacimiento de todo tipo de partículas que serán estudiadas por los científicos.

En alguna de estas colisiones, físicos de todo el mundo esperan encontrar una partícula especial: el famoso bosón de Higgs.

Entramos en el edificio y una de las encargadas del experimento nos da los pases de seguridad y una pequeña tarjeta que medirá la radiación a la que estaremos sometidos. Uno de los muchos protocolos de seguridad que implican esta visita.

Antes de entrar en el ascensor que nos bajará hasta las profundidades del acelerador, vemos cómo algunos de los operarios pasan por un detector de retina para poder acceder a las zonas restringidas.

—Los protocolos de seguridad son necesarios, sobre todo cuando el acelerador está en marcha —nos cuenta Mirko a la vez que nos da unos cascos de obra rojos a cada uno—. Pero ahora no tenéis de qué preocuparos, la máquina estará parada durante todas las vacaciones de Navidad.

Al llegar frente al ATLAS es imposible no sentirse impresionado por sus colosales magnitudes. El detector tiene unos 25 metros de diámetro y 46 metros de longitud, como la mitad de la catedral de Notre Dame de París. Pesa nada menos que 7.000 toneladas, algo así como la torre Eiffel o unos 100 Boeing 747.

El detector parece un gigantesco brazo de gitano. En el centro están los tubos por donde pasan los haces de protones, y alrededor de ellos se sitúan las distintas capas de detectores.

—ATLAS es el detector de colisiones de partículas más grande jamás construido. —Mirko consigue que apartemos los ojos, hipnotizados ante esta grandiosa construcción—. Éste es uno de los cuatro puntos del acelerador en los que colisionan los haces de protones. Este experimento registrará todo lo que suceda en estas colisiones. Es tal la cantidad de datos, que sólo en ATLAS se podrían grabar cien mil CD cada segundo. Si los apilásemos planos, podríamos ir y volver a la Luna dos veces al año.

—Si no he entendido mal —interrumpe Francesc—, los protones están compuestos de tres quarks, de modo que al hacer chocar los protones entre sí lo que conseguiremos al «romperlos» es liberar los quarks que tienen dentro, ¿no es eso? ¿Tanta información contienen estos pequeños quarks?

—En estas colisiones no sólo aparecen los quarks que constituyen los protones —le interrumpo con entusiasmo—. Se forman muchas más partículas de nombres divertidos: muones, neutrinos, tau… Y esperemos que pronto el buscado bosón de Higgs.

—No entiendo —dice Francesc—. Si haces chocar dos protones, lo único que puede salir de ahí son los quarks que los forman. ¿De dónde salen todas estas partículas de las que hablas, Sonia?

—Gracias a la famosa ecuación de Albert Einstein, $E = mc^2$, sabemos que la energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado. No sólo la masa se puede convertir en energía, como sucede con las bombas atómicas, sino que la energía también se puede convertir en masa. Es lo que sucede dentro del acelerador. Es como si hicieses chocar dos platos entre sí y, además de trozos de porcelana, aparecieran cucharas, tenedores y toda la cubertería entera. ¡Atómico! ¿No crees?

—Ya me duele la cabeza… —suspira Francesc.

—Pues recupera fuerzas —bromea Mirko—, porque ahora vamos a visitar el hangar donde están los imanes de repuesto. Así podrás ver cómo está construido el acelerador.

El guía nos acompaña en su coche hasta nuestro próximo destino. Para ello tenemos que pasar la frontera con Francia, la misma que yo cruzaba cada mañana para trabajar en el CERN hace unos años. Está a unos pocos metros de la entrada del laboratorio.

En aquella época vivía en el minúsculo Saint-Genis-Pouilly, en un apartamento donde descansaba del trabajo diario en el CERN. Queda a un par de kilómetros de la entrada a las instalaciones que ya estamos visitando.

Me recupero del fugaz ataque de melancolía, pues enseguida llegamos a un espacioso hangar que alberga los gigantescos imanes que se colocarán en el LHC. En los laterales están las maquetas del acelerador y las partes que lo componen para acompañar las explicaciones de los guías.

—Aquí podéis ver los distintos imanes y componentes que forman 23 de los 27 kilómetros de circunferencia —explica Mirko con entusiasmo—. Como os decía antes, uno de los grandes retos cuando se construyó el LHC era conseguir que los haces de protones recorriesen con una precisión milimétrica los 27 kilómetros de circunferencia. Para eso es necesario curvar las partículas con campos electromagnéticos. Aquí hay imanes que miden 15 metros y pesan unas 35 toneladas. ¡Imaginaos! Unos imanes se encargan de mantener la trayectoria curva y los otros, de agrupar los protones dentro del haz.

Decido dar una pausa a Mirko, aportando un dato para entender la improbabilidad de las colisiones:

—A pesar de estrechar el haz todo lo posible, para conseguir una sola colisión necesitamos diez billones de protones.

—Entonces, en realidad tenemos muy pocas de estas colisiones, ¿no? —pregunta Francesc.

—Ten en cuenta que hay trillones de protones dando vueltas en el LHC, de modo que cada segundo se producen unos seiscientos millones de colisiones.

En ese momento llega Lina, una científica checa encargada de que los imanes

funcionen correctamente antes de bajarlos al LHC. Le da un cariñoso abrazo a nuestro guía.

Es otra de las cosas que siempre me han gustado del CERN: unir a tanta gente de distintas partes del mundo con un mismo objetivo. En cuanto los científicos se interrogan sobre los grandes enigmas de nuestro cosmos, olvidan rápidamente las diferencias de sexo, raza o nacionalidad. De repente, nos convertimos todos en fascinados y minúsculos observadores del maravilloso universo que nos rodea.

—Acercaos —nos invita Lina—, aquí podéis ver los cables que forman los imanes superconductores. Están compuestos por filamentos de niobium-titanium. Si juntásemos todos los hilos de este material que hay en el LHC, podríamos ir y volver al Sol seis veces y todavía nos sobraría cable para ir unas quince veces a la Luna.

—¿Alguien ha pensado en presentar el LHC a los premios Guiness? —suelta Francesc—. ¡Lo digo en serio! Esto me lleva a otra pregunta que me viene rondando durante todo el viaje…

—Pues tus dudas van a tener que esperar unos minutos… —digo mirando mi reloj—. Tenemos reservada una mesa para cenar una *fondue* en Ginebra.

LA MAYOR MÁQUINA JAMÁS CONSTRUIDA

Una vez en la mesa, animo a Francesc a que nos plantee las dudas que ha mencionado en la visita a los imanes del LHC.

—No sé si agobiaros con más preguntas —dice cabizbajo—. Tampoco son muy importantes…

—Todas las preguntas lo son —le interrumpo enseguida—. Además, ya sabes lo que se dice: «Si preguntas parecerás tonto un día, si no preguntas serás tonto toda tu vida».

—¿Cuál es la razón para que el acelerador esté bajo tierra? —plantea Francesc mientras nos sirven tres copas de vino de Ticino—. ¿Es peligroso lo que sucede allí abajo?

—El LHC está instalado en los 27 kilómetros de túnel que alojaba el anterior acelerador —contesta Mirko—, que se desmontó en 2000. Se construyó ahí abajo, no porque fuese peligroso, sino porque resultaba más barato excavar un túnel a cien metros bajo tierra que comprar los terrenos de la superficie. Por otro lado, sí es cierto que la corteza de la Tierra es un buen escudo para frenar la radiación emitida en el experimento.

—Entonces… ¿recrear pequeños big bangs ahí abajo no pone en peligro el planeta? —pregunta inseguro Francesc.

—No tienes por qué preocuparte. La energía que generan estas colisiones son menores incluso que la de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra constantemente.

—¿Y basta con tan poca energía para entender qué sucedió al principio de todo?

—Sí, en un haz de protones tan pequeñito se concentra suficiente energía para reproducir y entender la densidad que existía en los primeros instantes del Big Bang.

—Así, los que hablan del riesgo de crear un agujero negro que podría tragarse la Tierra y el Sistema Solar enteros…

—Cuando muere una estrella grande, por ejemplo, una vez y media mayor que el Sol, se convierte en un agujero negro. Se ha teorizado que en el LHC, con las colisiones de estas minúsculas partículas, que en realidad tienen la energía de un insignificante mosquito, podrían crearse microscópicos agujeros negros. Sin embargo, si así fuese, serían demasiado débiles para arrastrar la masa a su alrededor. Se evaporarían en un corto instante de tiempo. Así que no debes preocuparte lo más mínimo por este tema.

—Bueno, me has convencido un poco —dice Francesc no del todo seguro—. Cambiando de tema, ¿os puedo hacer otra pregunta indiscreta?

—Dispara —le anima Mirko.

Francesc llena nuestras copas de vino, como si pretendiese relajar nuestras defensas.

—¿Es pública la cifra de lo que ha costado tener este acelerador? ¿No será un agujero negro para nuestros bolsillos?

—Son datos públicos —contesta el guía—. La construcción de la máquina costó unos tres mil millones de euros.

—Es una cifra alta, pero ¡muchísimo más se les ha dado a los bancos para que cubran sus malas gestiones! —protesto—. El CERN, desde sus inicios, ha ofrecido a la humanidad numerosos avances que nos han llevado a vivir mucho mejor. Los detectores que se han desarrollado aquí han dado como fruto gran parte de la maquinaria de detección usada en los hospitales, así como la radioterapia de electrones o protones contra los tumores.

—Eso sin tener en cuenta que fue aquí donde nació la World Wide Web —añade Mirko—. Si en lugar de ser gratuita, el CERN hubiese cobrado un céntimo cada vez que alguien se conectase a ella, ¡ahora podríamos construir cientos de estos aceleradores!

—Bueno —añade Francesc—, no quiero hacer de abogado del diablo, pero muchas personas asociarán un centro de investigación nuclear con el desarrollo de armas de destrucción masiva, como el Proyecto Manhattan.

—Cierto —contesto—. Pero la ciencia no es en sí misma buena o mala. Es lo que nosotros, los humanos, decidamos hacer de ella. Si queremos que nos ayude a seguir avanzando como civilización, debemos trabajar para que el conocimiento científico no se quede en los laboratorios, sino que llegue a todos para el bien de la humanidad.

LA ALEJANDRÍA DE CARL SAGAN

Carl Sagan hace en *Cosmos* una reflexión preciosa sobre la importancia de la divulgación de la ciencia. Cuenta que existió un momento en nuestra historia en que se desarrolló una brillante civilización científica: la Biblioteca de Alejandría.

Creada en el siglo III a. C. por los Tolomeos, se convirtió en la ciudad que acogió a las mentes más brillantes del mundo antiguo durante siete siglos. En esta biblioteca no sólo se recopilaban y adquirían libros y manuscritos de todo el mundo, sino que se animaba y financiaba la investigación científica. Allí se desarrollaron las matemáticas, la física, la astrofísica, la biología, la medicina y la literatura sobre las que todavía hoy seguimos construyendo la ciencia actual.

Eratóstenes, director de la Biblioteca, calculó en el siglo III a. C. el diámetro de la Tierra. Hiparco de Nicea ordenó el mapa de las constelaciones y midió el brillo de las estrellas. Euclides sistematizó la geometría, y lo mismo hizo con el lenguaje Dionisio de Tracia. Herófilo sería el primero en apuntar que la inteligencia está en el cerebro, y Herón, aparte de ser el inventor de engranajes y aparatos de vapor, escribió el primer relato de robots: *Autómata*. Sabemos también que allí se encontraban los documentos de Aristarco de Samos, en los que describía cómo la Tierra da vueltas al Sol y las estrellas se encuentran a enormes distancias.

Tuvimos que esperar casi dos mil años para recuperar esas ideas.

Alejandría se convirtió en el corazón y la mente de la antigüedad, donde gente de distintos países, razas y culturas llegaba a sus puertos, no sólo para intercambiar mercancía, sino también conocimiento. Aquella ciudad fue probablemente la que mejor se ajustaría a la definición de la palabra que acuñó Diógenes: «cosmopolita», ciudadano del cosmos. Sentirse unidos, no por formar parte de una nación, sino por ser ciudadanos del cosmos.

Sagan plantea una pregunta crucial que debería hacernos reflexionar para que no cometamos el mismo error:

> ¿Qué impidió que arraigaran y florecieran? ¿A qué se debe que Occidente se adormeciera durante mil años de tinieblas hasta que Colón y Copérnico y sus contemporáneos redescubrieron la obra hecha en Alejandría? No puedo daros una respuesta sencilla. Pero lo que sí sé es que no hay noticia en toda la historia de la Biblioteca de que alguno de los ilustres científicos

y estudiosos llegara nunca a desafiar seriamente los supuestos políticos, económicos y religiosos de su sociedad. Se puso en duda la permanencia de las estrellas, no la justicia de la esclavitud

Sin embargo, también allí la ciencia y la cultura estaban reservadas para unos pocos privilegiados. La vasta población de la ciudad no tenía la menor idea de los grandes descubrimientos que tenían lugar dentro de la Biblioteca. Los nuevos descubrimientos no fueron explicados ni popularizados. La investigación les benefició poco.

Los descubrimientos en mecánica y en la tecnología del vapor se aplicaron principalmente a perfeccionar las armas, a estimular la superstición, a divertir a los reyes. Los científicos nunca captaron el potencial de las máquinas para liberar a la gente. Los grandes logros intelectuales de la antigüedad tuvieron pocas aplicaciones prácticas inmediatas. La ciencia no fascinó nunca la imaginación de la multitud. No hubo contrapeso al estancamiento, al pesimismo, a la entrega más abyecta al misticismo.

Cuando, al final de todo, la chusma se presentó para quemar la Biblioteca, no había nadie capaz de detenerla.

11
Higgs-Dependence Day:
la maldita partícula de Dios

Es muy agradable tener la razón de vez en cuando.

PETER HIGGS

De: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

Hola, Sonia:

¿Cómo llevas el resfriado?

Ha llegado a mis oídos el rumor de que la presentación que se hará desde el CERN, este próximo miércoles, será un bombazo: ¡por fin hallada la «Partícula de Dios»! Ya veo los titulares…

Tampoco tengo muy claro lo que significa, pero después de nuestro viaje al CERN, lo que sí entendí es que para los físicos que llevan medio siglo en su busca y captura será un gran hito.

Espero con ganas tu opinión: ¿será el 4 de julio el día del bosón de Higgs?

Un beso,

PD. Te llevaré equinacea, un remedio infalible contra los catarros.

De: Sonia <sonia.desayunoconparticulas@gmail.com>

A: Francesc <francesc.desayunoconparticulas@gmail.com>

Francesc:

¡Por supuesto que estoy al día de los rumores! Y de los nervios por que llegue ya el miércoles.

Habrá una conexión, vía webcast, para poder seguir en directo la presentación desde cualquier parte del mundo.

Tenía planeado subir a la universidad para compartir el momento con mis

compañeros, pero con el trancazo que llevo encima, finalmente la veré desde casa. Si eres valiente y no te asustan mis virus…, ¿te animas a venir? Así pondré a prueba tu remedio infalible contra resfriados.

Respecto a mi opinión: seré prudente y esperaré al miércoles. El pasado diciembre los resultados fueron un poco decepcionantes para los impacientes que esperábamos noticias definitivas. Para mí fue un recordatorio del refrán popular: la paciencia es la madre de la ciencia. Sin embargo, y en confianza…, por lo que me ha llegado de amigos que tengo en el CERN, estoy de acuerdo con lo de que será un bombazo ☺.

También estoy de acuerdo con que la frase de «Hallada la Partícula de Dios» será un buen titular, pese a que dentro de la comunidad de físicos de partículas no gusta esta expresión. No hay nada en esta partícula que se relacione con textos sagrados, ni con ningún concepto que la una a Dios.

Este apodo divino tiene su origen en una anécdota curiosa. El premio Nobel Leon Lederman escribió un libro divulgativo que llevaba como título: La Partícula de Dios: Si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta?

En realidad, el título que Lederman había escogido era «La Partícula Maldita», pero a su editor no le gustó y decidió cambiarlo a su antojo. Con el objetivo de vender más libros, pensó que «Partícula de Dios» era más comercial que «Partícula Maldita». Y, al menos, debemos reconocer que a nivel de *marketing* acertó, pues con ese apodo ha causado tanto furor —como confusión— en los medios de comunicación.

Lo dicho, si eres valiente y te decides, nos vemos el 4 de julio a las 8.30 de la mañana en casa para un «desayuno con partículas de Higgs».

Un beso,

S.

NACIDO EL 4 DE JULIO

Ocho y media de la mañana, el ordenador ya está conectado y listo para enlazar con el webcast del CERN. La tetera preparada y unos bocadillos para aguantar la mañana sin tener que distraernos por nada. Todo a punto para el gran día.

Suena el timbre de casa. Francesc ha sido puntual.

—He llegado a la conclusión —exclama antes de que pueda decir nada— de que prefiero correr el riesgo de contagiarme con tus virus a que pase un día histórico ante

mis narices y no me entere de nada. Vengo con la condición de que me expliques con detalle todo lo que pase hoy.

—¡Trato hecho, amigo! Pregunta todo lo que quieras.

—Te arrepentirás de esta oferta… Por mí puedes empezar desde el principio. ¿Qué es esto del bosón de Higgs? ¿Por qué tantos físicos vais tras una partícula tan diminuta?

—Bien —digo tomando asiento—, tú lo has querido, empecemos por el principio… El ser humano se ha preguntado, desde los inicios de las civilizaciones: ¿de qué está hecho el cosmos?, ¿qué lo mantiene unido?

—Cierto —añade Francesc—. Leí en un artículo que en la antigüedad se creía que la materia estaba compuesta por «ladrillos» primordiales de distintos tipos. El filósofo griego Empédocles, en el siglo V a. C., tomaba como elementos fundamentales el fuego, el aire, el agua y la tierra. En contraposición a estas ideas, Demócrito planteó la teoría del átomo: el último componente indivisible de la materia.

—Y si me permites, daremos un salto gigantesco en la historia, esta vez sin máquina del tiempo —digo mientras Francesc mira de reojo las escaleras que suben al estudio—. Nos trasladamos a 1897, cuando Thomson descubre el electrón. El átomo no es el último elemento, pues su nueva partícula órbita alrededor de un núcleo.

—Y, por lo que me has contado, eso sólo fue el principio, pues el núcleo se compone de protones y neutrones, que a su vez están compuestos por mis amigos los quarks.

—Veo que esta parte de la lección te la sabes al dedillo… Toda esta colección de partículas, como te explicamos en nuestra visita al CERN, está bien ordenada gracias al Modelo Estándar. Este modelo nos explica cómo está formada la materia y las fuerzas que existen en el universo.

—Todas menos la de la gravedad.

—¡Exacto! Y tampoco logra responder a una pregunta que nos podría parecer muy fundamental: ¿por qué algunas partículas tienen masa, como el electrón, y otras, como el fotón, carecen de ella? —Francesc me mira con cara de pasmo—. Pues el bosón de Higgs apunta precisamente en esa dirección.

El sonido procedente de mi ordenador nos interrumpe. La retransmisión ha empezado. Son las 8.50 de la mañana. Vemos al profesor Higgs entrar en el auditorio del CERN.

—La sala está repleta hasta los topes —comenta Francesc—, ¿cuánta gente se habrá quedado fuera? Con la multitud que debe de estar siguiendo esta conferencia, deberían haber alquilado el estadio de Ginebra…

—El auditorio es muy pequeño —coincido con él—, una muestra de que en los años cincuenta la familia de físicos de partículas era bastante reducida… Hoy la mayor parte está ocupada por periodistas. El resto de los científicos y muchos de mis

amigos del CERN la están siguiendo a través de la web, como nosotros.

—Es irónico que se inventase precisamente en el CERN. ¿Crees que Tim Berners-Lee había llegado a imaginar este momento?

El director general del CERN, Rolf Heuer, toma la palabra para hacer la apertura oficial con una breve introducción. Enseguida cede el turno a Joseph Incandela, el portavoz del experimento CMS, que empieza a soltar numerosos datos y palabras técnicas.

EL SECRETO ESTÁ EN LA MASA

Francesc, a mi lado, se agita inquieto en el sofá. No quiere interrumpirme, pero sé que no aguantará mucho antes de dormirse, y quiero que éste también sea un día especial para él, por muy de letras que sea.

—¿Te importa si aprovecho la primera parte de la presentación, que es muy técnica, para proseguir con la historia del bosón de Higgs?

—¡Por favor! —responde aliviado—. Nos habíamos quedado en algo así como el eslogan de Telepizza: el secreto está en la masa.

—Sí, señor. El Modelo Estándar de partículas no explica por qué algunas partículas, como el fotón, no tienen masa y otras, como los quarks, sí la tienen. En los años sesenta, un grupo de físicos, entre ellos Peter Higgs, postularon la existencia de un mecanismo que sería el encargado de otorgar la propiedad de la masa.

—Algo así como un repartidor de kilos —dice mi amigo mientras asiento con la cabeza.

—Del mismo modo que existe un campo electromagnético que afecta a las partículas, también hablamos del campo de Higgs, que les da la propiedad de «masa».

—Vuelves a hablar raro.

—Bien, pongamos una analogía fresquita, ahora que llega el calor del verano. Imagina que este campo de Higgs es una piscina pequeña, de esas en las que haces pie. ¿Has intentado alguna vez cruzarla corriendo?

Mi amigo asiente y yo prosigo con mi explicación.

—Cuesta mucho atravesarla, mucho más que si la cruzas nadando a crol, ¿verdad? Podríamos decir que es como si «pesases» mucho más. Pues las partículas reaccionan de un modo parecido a este campo de Higgs.

—Así que el fotón pasa nadando como si fuese un pececillo mientras que el electrón cruza torpemente y de pie esta piscina de Higgs… Pero, Sonia, tú me estás hablando todo el rato del campo de Higgs, sin embargo, siempre he oído hablar del bosón de Higgs, y no de su campo.

—Cuando hablamos de un modo «poco preciso» decimos que el bosón de Higgs es el responsable de que las partículas tengan masa; sin embargo, si queremos ser rigurosos, no es este bosón el que les otorga la masa sino su campo.

—¿Y por qué entonces no se habla siempre del campo, que es el importante?

—Porque es el bosón de Higgs lo que podemos detectar en aceleradores de partículas como el LHC. El campo de Higgs lo puedes imaginar también como el aire. El aire está en toda esta habitación, igual que el campo de Higgs está en todas partes. Sin embargo, hasta que no abro esta ventana y genero una pequeña brisa, no eres consciente de su existencia.

—Cierto, pero ahora ciérrala o tu resfriado pasará a ser una faringitis…

Hago caso a la recomendación de mi amigo y prosigo con mi explicación.

—Siguiendo con la metáfora del aire, si junto mis palmas con rapidez —digo mientras doy una palmada con mis manos—, provoco una pequeña perturbación en el aire. Esta perturbación no son más que ondas, que llegan en forma de sonido a tus oídos, donde es detectado. Recuerda que, en física cuántica, las ondas también son partículas.

—Te sigo.

—Lo que experimentan en el LHC es algo parecido a lo que he hecho con el aire: aceleran protones en direcciones opuestas y a velocidades cercanas a la luz. Los hacen colisionar del mismo modo que yo he chocado las palmas de mis manos. En esas colisiones perturban el campo de Higgs creando estas partículas llamadas «bosones de Higgs», y son precisamente éstos los que podemos detectar. Es la prueba de que este campo existe.

Nos interrumpe en ese instante el vídeo que se está proyectando en el ordenador. El público del auditorio del CERN aplaude con entusiasmo. Incandela ha presentado sus resultados: evidencias de una partícula de masa cercana a 125 GeV/c^2 decayendo en dos fotones, evidencias de una partícula de masa similar decayendo en dos pares de leptón-antileptón. El aplauso se torna masivo cuando Incandela muestra el siguiente dato: cinco sigmas.

Contagiada al instante por el entusiasmo que se genera en el lejano auditorio del CERN, me levanto del sofá y me sumo al aplauso.

—Me siento como si estuviese presenciando el Mundial y no me enterase de cuándo se marca un gol —confiesa Francesc, que me observa anonadado—. Traducción, ¡por favor!

—Detectar este bosón no es fácil. Cuando hacemos colisionar los haces de protones no siempre obtenemos el bosón de Higgs. Es como si hiciésemos chocar dos sandías, una contra la otra, y necesitásemos que las minúsculas pepitas que hay dentro colisionasen también a la perfección.

—Difícil, lo reconozco.

—Por desgracia, el bosón de Higgs no se puede observar directamente. No es tan sencillo como decir: ¡míralo, ahí está! Este bosón es muy inestable, es decir, se desintegra muy rápidamente transformándose en otras partículas. Por ejemplo, el bosón de Higgs se puede desintegrar en dos fotones de alta energía. Son precisamente estas partículas resultantes las que los científicos del CMS han detectado. Por eso

Incandela habla todo el rato de fotones y pares de leptones-antileptones. Con estas partículas en las que se desintegra Higgs, los científicos hacen un trabajo a lo Sherlock Holmes. Igual que el detective y su ayudante reconstruyen lo sucedido en el escenario del crimen gracias a las huellas y las pistas que dejan los esquivos ladrones, los físicos reconstruyen lo que ha sucedido a partir de millones y millones de colisiones, de distintas partículas y datos.

Higgsteria

Volvemos a prestar atención al ordenador. Es el turno de Fabiola Gianotti, portavoz del experimento ATLAS. Del mismo modo que su colega, empieza presentando detalles técnicos que hacen que mi compañero se pierda.

Mientras tanto, Fabiola continúa con la presentación de los resultados de ATLAS. Por curiosidad, Francesc decide seguir los comentarios que se suben a Twitter con el *hashtag* #Higgs, que ha alcanzado el puesto de *trending topic* del día. La anécdota curiosa es que #comicsans se posiciona rápidamente en las primeras posiciones de Twitter.

—Sonia, mira cuánta gente pendiente del tipo de letra que está usando Gianotti en su presentación. Al parecer, la Comic Sans no es la que da más seriedad a los Power Point. Mira lo que dice este *tweet* —añade mientras se aguanta la risa—: «Cada vez que usas Comic Sans en un Power Point, Dios mata al gato de Schrödinger. Por favor, pensad en el gato». Imagino que muchos de éstos no podían seguir el contenido, como yo, y se distraen con lo primero que pueden.

—Ahí le has dado —digo riendo—. Tampoco me parece tan terrible. La Comic Sans fue hecha para niños y es muy sencilla de leer.

—Bueno, reconocerás que leer algo así como «la máxima desviación del fondo de los decaimientos a cuatro leptones» en una tipología de letra diseñada originalmente para niños es un poco raro.

Nos concentramos, de nuevo, en las palabras de Fabiola. ATLAS ha encontrado señales de una nueva partícula de masa cercana a los 125 GeV/c^2, que decae en dos fotones y cuatro leptones. No se oye una mosca en el auditorio, todos están pendientes de las palabras de Fabiola: de un modo independiente, ATLAS y CMS han descubierto una nueva partícula compatible con el bosón de Higgs.

Por unos instantes reina el silencio. Yo aguanto la respiración, consciente de lo que la representante de ATLAS acaba de anunciar. Francesc, a mi lado, mira intermitentemente al ordenador y a mí, para interpretar lo que está sucediendo.

Fabiola dirige su mirada a Rolf Heuer, el director del CERN, que está de pie a su lado y afirma con un tono informal al mismo tiempo que jovial: «Creo que lo tenemos».

Euforia general.

El auditorio entero estalla de alegría, aplausos e incluso lágrimas de emoción por parte de algunos de los asistentes. En casa, yo ya estoy saltando encima del sofá, aplaudiendo hasta que me duelen las manos y Francesc, a mi lado, contagiado por el entusiasmo del momento, grita «GOOOOOOOL» a todo pulmón y con los brazos en alto.

No puedo evitar emocionarme, igual que algunos de los presentes en el auditorio. Pensar que hace diez años yo estaba trabajando para que este proyecto tirase adelante me llena de emoción, aunque mi contribución fuese tan pequeña como la diminuta partícula que acaba de ser descubierta.

—Enhorabuena —dice Francesc orgulloso— por la parte que te toca.

—Amigo mío, hoy acabamos de asistir a un hito histórico. Como te explicaba antes, se ha podido determinar que el bosón existía gracias a los análisis estadísticos de los millones de datos que se obtienen de las colisiones. La cantidad de sigmas nos dice si estos resultados salen por chiripa o si realmente hay un bosón ahí. Cinco sigmas es como estar un 99,9999% seguros.

—Pues sí que sois rigurosos, los físicos.

—Por supuesto, fíjate lo que está diciendo el director del CERN en la rueda de prensa: «Como persona, sí que le puedo decir que tenemos el bosón de Higgs. Como científico, sólo puedo decir que lo es con una alta probabilidad». Ésa es la precisión de la ciencia.

El director del CERN explica a los periodistas que ahora es momento de comprobar si el bosón de Higgs encontrado es realmente el que predice el Modelo Estándar o si es algún bosón de Higgs más exótico.

—¿A qué se refiere con esto, Sonia?

—De momento sabemos que lo que tenemos ahí, con una gran probabilidad, es un bosón de Higgs. Pero no sabemos si se comportará exactamente como predice la teoría. Es como si vieses a un amigo de la infancia de lejos. Le reconoces, pero necesitas acercarte para verificar si es él y no un primo o un hermano que se le parezca.

—Y un día histórico, como bien dices. Pero… ¿y ahora qué? Me refiero a que el objetivo del gigantesco LHC era encontrar el bosón de Higgs y no habrá más sorpresas con este gran acelerador.

—¡Qué va! Éste era sólo uno de los objetivos del LHC, cierto que el más esperado, pero todavía quedan muchas preguntas que este gran acelerador de partículas puede contestar. Pero, si te parece, lo dejamos para después, ahora hay que ir a comer y celebrarlo.

—¡Genial!

«The CERN Files»: las 4 grandes preguntas a las que se intenta responder en el CERN

¿Cómo se comporta un antiuniverso?

Todo lo que vemos a nuestro alrededor está formado de aquello a lo que llamamos materia, compuesta por partículas. Sabemos ahora que en nuestro universo también existe la antimateria, formada por antipartículas. Cada partícula de materia tiene su equivalente en antipartícula. Éstas son una versión gemela de las partículas: igual masa pero carga opuesta.

Cuando se crea o nace una partícula, lo hace también su antipartícula, de modo que al iniciarse nuestro universo debía de haber una cantidad equivalente de materia y antimateria. Sabemos que cuando una partícula entra en contacto con su antipartícula, ambas se aniquilan entre sí liberando una gran cantidad de energía en forma de radiación. Vamos, que si un día os encontráis con vuestro anti-yo, mejor no le deis la mano…

La pregunta es: si materia y antimateria se aniquilan al entrar en contacto, ¿no debería haberse destruido todo tras el Big Bang? ¿Cómo consiguió una porción de materia sobrevivir y crear el universo que hoy conocemos? ¿Tiene la naturaleza un favoritismo hacia la materia?

Los experimentos que se llevan a cabo en el LHC, en particular el LHCb, indagan sobre el motivo por el que la materia «ganó» la partida a la antimateria, así como las diferencias fundamentales entre ambas.

¿Se comportan de forma distinta? ¿Interaccionan de un modo distinto con las fuerzas que conocemos? ¿Podría la antimateria subir hacia los cielos por la fuerza de la gravedad en vez de caer hacia el suelo?

LA BOMBA DE ANTIMATERIA DE DAN BROWN

En su popular novela *Ángeles y demonios*, protagonizada en el cine por Tom Hanks, el célebre autor de *best sellers* planteaba la posibilidad de que unos terroristas robaran del CERN un cuarto de gramo de antimateria, que tendría un poder destructivo equivalente a media bomba de Hiroshima.

Lo que para el autor de *El código da Vinci* es una idea atractiva y a la vez temible, choca con dos improbables, si atendemos a cómo se obtiene y se almacena la antimateria:

- Dado que en el LHC se produce diariamente una cantidad ínfima de

antimateria, para juntar un cuarto de gramo el CERN necesitaría trabajar a todo gas varios millones de años con un gasto de energía descomunal. Se calcula que toda la antimateria generada en este laboratorio desde su creación hasta 2009 llegaría sólo para encender una bombilla durante un minuto.

- En el caso de existir ese cuarto de gramo, no se podría llevar en una simple maleta, como quien roba unos diamantes. Puesto que la antimateria se destruye al entrar en contacto con la materia, se necesitan enormes contenedores para confinarla en un campo magnético y así evitar que se aniquile todo. De hecho, la pequeñísima cantidad de antimateria que se produce en el CERN necesita de varias salas con un altísimo consumo energético para su conservación.

La antimateria fue propuesta por primera vez por Paul Dirac en 1928, al combinar ecuaciones de la relatividad especial y la física cuántica con el objetivo de describir el movimiento del electrón alrededor del núcleo atómico.

Su ecuación planteó una solución sorprendente: debía de existir un antielectrón (o positrón) para cada electrón, que tendría la misma masa pero carga opuesta. Dirac asumió entonces la existencia de una antipartícula para cada partícula, idea que le llevó a especular, en la lectura de su Premio Nobel, sobre la existencia de un antimundo, igual que el nuestro, pero formado por antimateria.

Pocos años más tarde, en 1932, C. D. Anderson detectaría el positrón gracias a su estudio sobre rayos cósmicos. A partir de ese momento se inició la búsqueda, con gran éxito, de todo tipo de antipartículas. Pero el gran paso, que nos llevaría de las antipartículas a la antimateria, se dio en el CERN, en 1995, al crearse los primeros átomos de antimateria.

Casi medio siglo después de su demostración teórica, la producción de antimateria sigue siendo difícil y muy costosa. De hecho, se trata sin lugar a dudas de la sustancia más cara del mundo: generar un solo miligramo de antimateria cuesta 60.000 millones de dólares aproximadamente.

El CERN, aparte del acelerador de partículas LHC, tiene también otros proyectos de investigación, como lo es ALPHA. Este proyecto consiguió en 2011 producir y retener 300 átomos de antihidrógeno durante 16 minutos. Pese a que no nos parezca mucho, 1.000 segundos es una eternidad en el mundo de los átomos. Retener antimateria durante tanto tiempo permitirá, en un futuro cercano, poder experimentar con ella y así lograr comprender cómo se comporta.

Además de permitirnos entender el origen del universo, la antimateria puede utilizarse de forma muy beneficiosa; por ejemplo, para destruir tejidos cancerosos de

un modo efectivo.

Como combustible, algunos teóricos han estimado que bastarían 10 miligramos de antimateria para llevar una nave a Marte. Sin embargo, nos enfrentamos a un gran reto de eficiencia: cuesta más energía generar esos 10 miligramos de antimateria que la que ésta nos ofrecería para poder llegar a Marte. Para bien o para mal, aún estamos muy lejos de obtener una cantidad así y desarrollar una tecnología que nos permita aprovechar sus ventajas.

¿Cómo era la «sopa» primordial del Big Bang?

La observación de las estrellas nos permite ver cómo era el universo 400.000 años después del Big Bang, pero tenemos dificultades para retroceder a ese momento inicial del que se ocupa el libro de Steven Weinberg. Ésta es justamente la finalidad del colisionador de hadrones LHC: reproducir a pequeñísima escala lo que sucedió al inicio de todo, conocer los secretos del Big Bang.

Los teóricos piensan que al principio se creó un cóctel de quarks, las partículas elementales de la materia. En el universo que conocemos los quarks están confinados, gracias a los gluones, en los protones y los neutrones que forman los núcleos de los átomos. Sin embargo, en el Big Bang, debido a la altísima temperatura, los gluones que mantenían unidas estas partículas no estaban confinados en los protones y los neutrones. En la extremadamente caliente y densa «sopa primordial», los quarks y los gluones eran partículas libres. No existían ni átomos, ni estrellas, ni vida, ni civilización, sino tan sólo una inmensa bola de fuego.

En el acelerador de partículas, en el experimento ALICE (siglas de *A Large Ion Collider Experiment*) se recrea el llamado plasma de quarks y gluones para comprender cómo pasamos del CAOS de esa sopa primordial al COSMOS que hoy en día empezamos a conocer. Una transformación de la que no sólo somos testigos, sino también fruto.

¿Existen otras dimensiones?

En nuestra vida cotidiana identificamos con facilidad las tres dimensiones espaciales: alto, ancho y largo (por ejemplo, cuando intentamos hacer entrar nuestra maleta como equipaje de mano en el avión). A estas tres dimensiones espaciales, Einstein añadió una cuarta que también nos resulta familiar: el tiempo. Sin embargo, teorías posteriores plantean la existencia de otras dimensiones suplementarias del espacio.

La teoría de cuerdas y la de supercuerdas, como si de una sinfonía cósmica se tratase, defiende que todas las partículas están formadas por hilos de energía llamados «cuerdas». Del mismo modo que cuando tocamos un violín podemos generar las distintas notas, el modo en que se organizan estas cuerdas dará como resultado las distintas partículas.

Esta teoría es una de las candidatas para unificar todas las fuerzas de la naturaleza. Cumplir el sueño de una teoría única, la quimera de la ciencia. Sin embargo, para que sea válida nos plantea que podemos convivir en una realidad de once dimensiones, según los cálculos matemáticos, y universos paralelos muy cercanos.

En los detectores de partículas del CERN se buscarán signos de estas dimensiones extra.

TRES TEORÍAS DE UNIVERSOS ALTERNATIVOS

Teoría de la inflación

La existencia de universos alternativos ha ganado fuerza en los últimos años. La teoría cosmológica actual nos dice que nuestro universo se formó a partir de una singularidad en una región diminuta del vacío primordial. Fruto de una gran explosión llamada «Big Bang» y de una expansión exponencial llamada «inflación», nuestro universo evolucionó hasta lo que es hoy en día.

Este mismo vacío primordial estaría generando constantemente universos en los cuales las leyes de la física podrían ser completamente distintas, dando lugar a universos de lo más exótico. Incluso alguno de ellos podría albergar, por qué no, vida.

Dejando libre nuestra imaginación, podríamos crear nuestro propio *baby-universe* sólo con calentar un puntito, más pequeño que una mota de polvo, un trillón de trillones de veces. Con ello estaríamos fabricando nuestro propio Big Bang. Por desgracia —o por fortuna—, nuestro recién creado universo se esfumaría hacia otra dimensión en menos de 10^{-37} segundos.

Burbuja de Hubble

Cuando pensamos en el universo, la mayoría imaginamos un inmenso espacio oscuro más allá de la protección de nuestro hogar, el planeta Tierra. Sin embargo, para los cosmólogos el universo es la parte del universo que podemos llegar a «ver», una esfera de unos 14.000 millones de años luz: nuestra «burbuja de Hubble». Todo lo demás nos resulta invisible.

Pero que no lo podamos ver no significa que no exista. ¿Es posible que en este gran océano cósmico haya otras esferas como la nuestra, albergando un Sistema Solar paralelo con una Tierra igual a la nuestra?

¿Existiría entonces una civilización igual a la nuestra y alguien también leyendo este libro?

Múltiples mundos

En física cuántica, la teoría de múltiples mundos de Hugh Everett considera que los distintos estados de superposición (gato vivo y gato muerto) continúan existiendo en distintos universos. En un universo el gato estará vivo y en el otro estará muerto. Las distintas posibilidades se desarrollan en realidades paralelas que crean diferentes mundos que se van ramificando. De ese modo se evita el problema de la medida de la teoría cuántica, pese a que el coste es una inmensidad de universos alternativos.

Tal como bromeaba un divulgador científico, puesto que las probabilidades son infinitas y se están dando todas a la vez, en algún universo Andorra está ganando ahora mismo todas las medallas de unas olimpiadas y Elvis sigue vivo y es presidente de Estados Unidos.

¿Qué es la materia oscura?

Todo lo que vemos en el universo, desde una mota de polvo hasta una galaxia, se compone de partículas de materia que, según los cálculos derivados de la velocidad de expansión del universo, sólo forma el 4% del cosmos. Y aquí está el problema: ¿qué es el 96% restante?

Se trataría de lo que se denomina «materia oscura» (en un 21%), y de la consiguiente energía oscura (en un 75%), que aunque teóricamente esté demostrada su existencia —de otro modo no saldrían los números—, está resultando altamente difícil de detectar.

La hipótesis fue planteada por Fritz Zwicky, en 1933, al observar que la velocidad a la que se expande nuestro universo es mucho mayor a la que debería ser con la masa conocida. Si nuestro modelo cosmológico actual es acertado, tienen que existir esta materia y esta energía oscuras.

Pese a seguir avanzando a pasos de gigante en la comprensión del cosmos, debemos reconocer con humildad que hay muchas cosas que ignoramos completamente, como ese 96% que trae de cabeza a los científicos.

Desconocemos de qué está formada la materia oscura, pues no la podemos ver ni detectar, al no interaccionar con ninguna de las fuerzas conocidas. Por otro lado, la energía oscura simplemente existiría en el espacio vacío.

Los detectores ATLAS y CMS, ambos situados en el LHC, esperan poder encontrar algún día la composición de esta desconocida materia oscura.

12
La partitura del universo

> En algún lugar, algo increíble espera ser descubierto.
>
> CARL SAGAN

TODO NIÑO SUEÑA EN ALGÚN MOMENTO de su vida con montar un telescopio en la azotea de su casa. Los mundos llameantes que Tales identificaba con los dioses han sido siempre un enigma que ha estimulado la curiosidad científica y la imaginación de poetas y filósofos.

Recuerdo que, siendo una niña, me impactó leer que nuestra especie debe su supervivencia a la habilidad que tenemos para observar las estrellas. Ellas permitieron a nuestros ancestros elaborar un calendario. En una era anterior a internet, a los televisores, e incluso a los libros o pergaminos, nuestros antepasados contemplaban las estrellas y constelaciones, de movimientos tan predecibles como tranquilizadores. El cielo nocturno les señalaba el momento idóneo para salir de caza, sembrar y recolectar las cosechas en los períodos correctos del año.

Conocer con exactitud los movimientos de las estrellas, de los planetas, de nuestro astro rey y su doncella la Luna era entonces cuestión de vida o muerte.

Quizá por eso, y como herencia de aquellas épocas, al observar hoy el firmamento admiramos su grandeza y sentimos una abrumadora conexión con el cosmos.

De pequeña me sorprendió saber, por ejemplo, que los pitagóricos veían las estrellas como una partitura celeste escrita por un dios lejano. ¿Cómo suena la música de las esferas?, me preguntaba mientras movía el telescopio buscando un punto rojizo que tenía que ser Marte.

Si el universo es una gran partitura con sus pautas, ritmos y leyes, para interpretarla tendría que aprender la teoría por la que se rigen todos estos movimientos y acordes. Quizá de ese modo podría comprender nuestra relación con ese cosmos, la teoría que explique por qué nuestro universo ha llegado a la complejidad que hoy vemos y que ha permitido la evolución y la existencia del ser humano…

¿O debería referirme a las *teorías*?

El gran reto de la ciencia antigua y moderna siempre ha sido encontrar una sola ecuación que explique todo lo que pasa sobre nuestras cabezas… y también dentro de ellas.

La ciencia progresa a medida que unificamos nuestras áreas de conocimiento, pero al parecer existen fuerzas que se resisten a encajar puesto que, aparentemente, se

rigen por leyes distintas. A día de hoy, el principal quebradero de cabeza de los teóricos es entender por qué la ley de la gravedad parece seguir unas normas distintas al resto de las fuerzas que operan en nuestro universo. Nos detendremos en este aparente divorcio en la próxima sección.

Encontrar una teoría unificada que nos permita explicarlo todo, desde el comportamiento de la partícula más diminuta hasta los movimientos de las estrellas que descansan en los confines del firmamento, ésa es la quimera de la ciencia.

La pregunta es si la naturaleza tiene ese mismo interés en unificar sus leyes, e incluso, de ser así, si los seres humanos estaremos preparados para comprenderlo.

UNIR EL CIELO Y LA TIERRA

Tal como repasa Brian Greene en su ensayo *El universo elegante*, del que hay una interesante adaptación como documental, Albert Einstein dedicó sus últimos años de vida a esta quimera: la búsqueda de la ecuación que sería conocida como *la teoría del todo*.

Durante casi veinte años investigó con tesón desde el segundo piso de su modesto hogar en Princeton, convencido de que la naturaleza escondía en sus profundidades belleza y simetría. Estaba seguro de que esta teoría unificada sería la llave capaz de abrir la puerta que esconde los secretos del cosmos.

Por desgracia, su tiempo en la Tierra acabó antes de poder ver cumplido su sueño. A pesar de los pasos de gigante que había dado la ciencia de principios del siglo XX, probablemente los últimos intentos de este gran visionario todavía eran prematuros.

Pero la intención y la necesidad de explicar los fenómenos de nuestro mundo con menos principios y ecuaciones no nacen con la física moderna, sino mucho antes.

Podemos remontarnos cinco siglos atrás —véase el primer capítulo de este libro —, cuando Copérnico, Galileo y Kepler iniciaron una revolución intelectual completada por Newton y Maxwell que daría como fruto la *ilustración*.

Como ya vimos en nuestro viaje en el tiempo, los rebeldes protagonistas de esta revolución se encargaron de unir dos mundos que hasta entonces debían cumplir leyes distintas: el mundo terrestre «imperfecto», donde habitaban los hombres con todas sus debilidades y pasiones, y el de las esferas celestes, que se creía «armonioso y perfecto», habitado por ángeles y demonios.

Kepler desafió a sus contemporáneos al demostrar que los planetas describen órbitas elípticas, en vez de los círculos perfectos.

Su coetáneo Galileo fue el primero que enfocó un telescopio hacia la Luna. Con ello observaría que nuestro satélite muestra rugosidades, valles, montes y, en definitiva, irregularidades orográficas que contradecían la concepción cosmológica aristotélica de que los cuerpos celestes eran esferas perfectas.

Y el golpe final lo dio Isaac Newton al demostrar que la misma fuerza que hace

caer una manzana del árbol es la que mueve las estrellas y hace orbitar a la Luna alrededor de la Tierra.

Cielo y Tierra quedaban, de este modo, unidos en una teoría que Newton llamó gravitatoria.

El impacto de esta nueva cosmología sería la estrella fugaz que guiaría el *Siglo de las Luces*.

Pope lo plasmó en un epitafio, ahora famoso, dedicado a Isaac Newton:

La Naturaleza y sus leyes permanecían en la oscuridad.
Dios dijo: «¡Hágase Newton!». Y la luz se hizo.

Pero la historia del conocimiento nos recuerda que las verdades son provisionales. Sir John Collings Squire, buen amigo de Pope, supo resaltar esta propiedad agregando el siguiente pareado:

Pero esto no duraría, pues el diablo exclamó:
«Que sea Einstein», y el dilema se restauró.

LA QUIMERA DE EINSTEIN

Pese a que las leyes de Newton supusieron una extraordinaria evolución tecnológica —nos bastaron sus ecuaciones para que la humanidad enviase al primer hombre a la Luna—, durante trescientos años ningún científico llegó a entender cómo funcionaba la gravedad, ni siquiera el propio padre de esta gran teoría.

Fue a principios del siglo XX cuando un empleado de segunda de una oficina de patentes suiza, con sólo veintiséis años, abrió la caja de Pandora.

Con sus artículos de investigación, Einstein postuló que la velocidad de la luz es un límite cósmico que nada ni nadie puede superar. Esta afirmación abría una brecha de discordancia con el gran Isaac Newton. ¿En qué sentido la afirmación de Einstein provocaba este choque de titanes?

Según la teoría de la gravitación de Newton, la gravedad es una fuerza que afecta a los objetos de modo instantáneo, con lo que se saltaba el límite de velocidad que Einstein acababa de imponer.

Respecto a este problema, Albert se planteó lo siguiente: ¿qué ocurriría si un malvado mago cósmico hiciese desaparecer el Sol? Según la gravitación de Newton, los planetas del Sistema Solar saldrían disparados de su órbita instantáneamente.

Sin embargo, Einstein sabía que la luz del Sol tarda 8 minutos en recorrer los 150 millones de kilómetros que lo separan de la Tierra. Eso significa que seguiríamos viendo el Sol en su sitio durante esos minutos, del mismo modo que muchas de las estrellas que vemos en el firmamento ya hace siglos que se apagaron. Pero,

entonces… ¿cómo íbamos a salirnos de órbita antes de quedar a oscuras?, se preguntaba el joven científico.

Al responderse esta cuestión, Albert Einstein construyó un modelo en el que la gravedad no sólo no sería instantánea, sino que viajaría exactamente a la velocidad de la luz.

Acababa de nacer la teoría de la relatividad general.

Con esta teoría, Einstein realizaría otro laborioso trabajo de unificación: el espacio y el tiempo.

Su modelo de relatividad general crea un tejido espacio-temporal cuya curvatura es lo que atrae los planetas al Sol. Podemos visualizarlo como un colchón blando. Si tenemos una pareja corpulenta, deformará el colchón de tal modo que nos pasaremos la noche entera haciendo fuerza para evitar caer hacia él o ella. Del mismo modo se altera el tejido del espacio y el tiempo. En el colchón cósmico, el Sol deforma el espacio de modo que atrae a su alrededor los diferentes planetas.

Así pues, la pregunta de Einstein quedaba resuelta: si un mago hiciese desaparecer el Sol, no percibiríamos el efecto hasta que las ondas gravitatorias, que viajan a la velocidad de la luz, llegasen a la Tierra.

Esta relación entre la gravedad y la velocidad de la luz no pasó desapercibida a Einstein. Hasta entonces se conocían dos grandes fuerzas: la gravitatoria y la electromagnética (recordemos que la luz es una onda electromagnética). El descubrimiento de Einstein le hizo pensar que ambas fuerzas tenían, de algún modo, un mismo origen.

A mediados del siglo XIX, Maxwell había descrito la fuerza eléctrica y la fuerza magnética en cuatro ecuaciones que unificaban ambas fuerzas en una sola: el electromagnetismo. Inspirado por el trabajo de Maxwell, Einstein se embarcó en lo que creyó que sería el gran descubrimiento del siglo XX: la unión de la gravedad con el electromagnetismo.

Sin embargo, el siglo XX estaba reservado para otro gran hallazgo: la teoría cuántica.

La física cuántica avanzaba vertiginosamente y se alejaba del camino que Einstein deseaba recorrer. El descubrimiento del protón, el neutrón y el electrón añadía nuevas preguntas tras las ecuaciones de Maxwell. ¿Qué mantiene unidas las minúsculas piezas internas de los núcleos? Se comprobó que la fuerza gravitatoria no servía para explicarlo, y la electromagnética tampoco conseguía responder a esta pregunta.

Así nacieron las dos fuerzas nucleares: la fuerte y la débil. A Einstein se le acumulaba el trabajo. No había conseguido unir las dos conocidas, gravedad y electromagnetismo, y otras dos recién descubiertas se sumaban al carro.

LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA

Recapitulemos. Cuatro son las fuerzas conocidas, como ya aprendimos en nuestro viaje al CERN: la fuerza gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil.

La gravitatoria es la responsable de que estemos atrapados en la superficie terrestre, que los planetas de nuestro Sistema Solar giren alrededor del Sol y que las manzanas caigan sobre la cabeza de grandes científicos.

La fuerza electromagnética es la encargada de mantener unidos átomos y moléculas. Es, además, la responsable de la electricidad y el magnetismo, la base de la luz, los rayos X, las microondas y las ondas de radio.

La fuerza nuclear fuerte es la responsable de que los quarks estén unidos dentro de protones y neutrones e, indirectamente, la responsable de que los núcleos atómicos se mantengan unidos.

La fuerza nuclear débil es la que permite la transmutación de unas partículas a otras. Gracias a esta interacción, por ejemplo, un neutrón puede decaer en un protón y emitir radiación.

Las dos fuerzas nucleares fueron descubiertas hace menos de cien años. Las interacciones fuertes son mucho más intensas que las electromagnéticas. Fe de ello pudieron dar los científicos que el 16 de julio de 1945, a las 5.29 de la mañana, asistieron a la detonación de la primera bomba atómica en mitad del desierto de Nuevo México. En esta detonación dividieron el átomo generando una inimaginable cantidad de energía a partir de la fórmula $E = mc^2$; es decir, la energía equivale a la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz. Resumiendo: gracias a la fuerza nuclear fuerte, un poco de masa es capaz de convertirse en una descomunal cantidad de energía.

Si nos acercamos hoy en día a Trinity (así se denomina la ubicación exacta de esta primera prueba atómica) podremos medir los efectos de aquella bomba gracias a la fuerza nuclear débil. Aunque ya han pasado casi setenta años de aquel triste día, la radiación que allí encontraremos es diez veces superior a la normal.

DOS SIEMPRES DISTINTOS

Parece una ironía que la primera fuerza que los humanos empezamos a comprender fuese la gravitatoria, pues es precisamente la que más se resiste a encajar en una teoría unificada.

La mecánica cuántica describe las otras tres fuerzas mediante el intercambio de partículas que conocemos como bosones —ya lo presentamos con el Modelo Estándar—. La fuerza electromagnética y la nuclear débil, de hecho, están ya unidas en una teoría reciente llamada electrodébil. Por su parte, la teoría cuántica de campos

nos muestra que las tres fuerzas que se describen en el Modelo Estándar —electromagnética, nuclear fuerte y débil— se unen cuando tratamos con altas energías (por ejemplo, en el origen del universo).

El problema es que la gravedad no encaja en el caótico mundo cuántico. Pese a que se ha postulado la existencia de unas partículas llamadas gravitones, la gravedad sigue escapándose de las garras cuánticas.

La física moderna parece estar dividida en dos campos muy distintos entre sí. Por un lado, la relatividad general, que engloba la gravedad y se centra en las estrellas y galaxias. Y por el otro, la mecánica cuántica, que explica los diminutos átomos y partículas, así como las otras tres fuerzas conocidas.

No es posible hacer coincidir las ecuaciones matemáticas de la gravedad con las de la mecánica cuántica. Cuando lo intentamos surgen resultados absurdos.

Es como si necesitásemos distintos mapas para entender un mismo territorio. En algunos puntos estos mapas pueden solaparse, pero no disponemos de uno solo que nos pueda guiar por todo el cosmos.

No existe, de momento, una teoría comprobada que reconcilie cuántica y relatividad. Y aquí está el drama. Como dice S. James Gates, de la Universidad de Maryland: «Las leyes de la naturaleza deben cumplirse siempre. Pero si las leyes de la relatividad general se cumplen siempre y las leyes de la mecánica cuántica se cumplen siempre, resulta que tenemos dos siempres distintos».

UNA SINFONÍA CÓSMICA

Nacida a mediados de la década de 1970, la teoría de cuerdas es una de las candidatas a subir al podio de la anhelada teoría del todo. Ningún aspirante ha generado mayor esperanza —ni mayor controversia— que esta teoría. Con ella se podría explicar desde el comportamiento de los átomos y las partículas más pequeñitas hasta la más gigantesca de las estrellas.

Como si de una sinfonía cósmica se tratase, la teoría de cuerdas defiende que todo está formado por minúsculos hilos de energía que, según su vibración, generarían las distintas partículas y múltiples fuerzas.

Del mismo modo que el violinista hace sonar distintas notas con sus dedos y el arco, las vibraciones de estas cuerdas ínfimas darían como resultado las distintas partículas.

Esta elegante teoría lograría unificar la gravedad con las otras tres fuerzas, y, por lo tanto, con la teoría cuántica. Sin embargo, a principios de los años noventa sufrió un grave revés: no había una sola teoría de cuerdas sino cinco teorías distintas. De nuevo, la desesperanza volvía a reinar en el camino de la unificación, pero la desilusión duró poco.

Hoy en día estas cinco teorías de cuerdas, a las que se sumó otra llamada

supergravedad, se entiende que están relacionadas, que son aproximaciones de una teoría más fundamental conocida como la *teoría M*.

No hay, de momento, modo alguno de evaluarla. Poner a prueba cualquier teoría mediante la experimentación y la observación es el rasgo distintivo de la buena física desde Galileo. Por eso, si la teoría de cuerdas no puede someterse a prueba, dicen sus opositores, no es ciencia sino filosofía.

Como un rayo de esperanza, que abarca exactamente 27 kilómetros de circunferencia, el LHC puede respaldar la teoría de cuerdas si consigue encontrar signos de las llamadas partículas supersimétricas (SUSY para los amigos). Por otro lado, entre las exóticas propiedades que espera observarse en el LHC en un futuro está la existencia de dimensiones espaciales extra.

¿Dimensiones extra?

Éste es uno de los «precios» que pagamos con la teoría de cuerdas: nos describe un universo en el que existen once dimensiones, en lugar de las cuatro que conocemos.

MÁS DIMENSIONES DE LAS QUE PODEMOS IMAGINAR

Muchas personas se asustan cuando les hablan de más dimensiones de las que pueden percibir e incluso comprender con la razón de alguien que se mueve aparentemente en un mundo tridimensional —la cuarta sería el tiempo, según Einstein—. ¿Cómo podemos siquiera imaginar el universo de once dimensiones que pronostica la teoría de cuerdas?

Hay una novela de ciencia ficción magnífica para entender esta dificultad. Fue escrita en 1884 por Edwin Abbott bajo el título de *Planilandia* y explica de forma muy ilustrativa el concepto mismo de dimensión y cómo repercute en nuestra visión del mundo.

La acción tiene lugar en un mundo de sólo dos dimensiones —largo por ancho; es decir, sin altura— llamado Planilandia. El protagonista es un modesto cuadrado que lleva una vida sin sobresaltos en su mundo bidimensional hasta que tiene un curioso sueño… En él, Cuadrado visita un mundo unidimensional, Linealandia, en el que intenta convencer a su monarca de que existe una segunda dimensión. El rey de Linealandia no puede siquiera entender qué le está explicando Cuadrado, ya que su mundo está contenido en una línea sin más dimensiones que adelante y atrás.

Como Gulliver, que viaja a un mundo de gigantes y a otro de enanos —siempre en relación con su propio tamaño—, la acción se anima cuando este habitante de Planilandia recibe la visita de una esfera tridimensional. Cuadrado no será capaz de entender a la forastera hasta que pase él mismo a una tercera dimensión.

Moraleja: que no podamos ver determinadas dimensiones no significa que no existan. Esto es una lección muy útil para la física cuántica —y para la vida— que

nos muestra fenómenos que no somos capaces de comprender. Y, sin embargo, existen.

Tras sus viajes por las distintas dimensiones, Cuadrado enseña a sus paisanos a tener más aspiraciones y les plantea incluso la posibilidad de que existan cuatro, cinco, seis dimensiones, con lo que termina encarcelado en la prisión de Planilandia por amenazar el pensamiento establecido sobre las dos dimensiones únicas.

Aunque sea la primera vez que el lector oye hablar de esta novela, ¿a que nos suena? Al pobre Cuadrado le sucede lo mismo que a Galileo cuando se atrevió a decir que la Tierra se movía.

Ésta es una gran enseñanza de la física cuántica: hay que desafiar las ideas preestablecidas, aunque sea como un juego, si no queremos vivir limitados por un pensamiento único basado en verdades temporales que se van agrietando.

Generación Q

En el día de hoy ya camina el mañana.

SAMUEL TAYLOR COLERIDGE

DESDE LA MÁS REMOTA ANTIGÜEDAD, los seres humanos han levantado la mirada al firmamento y se han hecho preguntas nada triviales. ¿Qué son los fuegos lejanos que arden en la tiniebla cósmica? ¿Habrá planetas como el nuestro girando a su alrededor? En caso afirmativo, ¿es posible que en alguno de ellos haya vida y consciencias que sientan la misma curiosidad que nosotros? ¿Nos están buscando del mismo modo que nosotros les buscamos a ellos?

En 1954, el astrónomo Edwin P. Hubble decía lo siguiente sobre nuestra eterna aspiración por conocer cuanto nos rodea: «Equipado con sus cinco sentidos, el ser humano explora el universo y a esa aventura le llama ciencia».

En la antigua Grecia, los mismos filósofos que se interrogaban sobre el alma humana trataban de teorizar sobre lo que sucede más allá de donde alcanza la vista, tanto en la inmensidad del cosmos como en el interior de la materia.

A diferencia de estos pensadores de largos peplos, la cultura moderna adolece de una fuerte escisión entre humanismo y ciencia, y deberíamos restablecer los puentes de unión entre ambos.

La revolución científica basada en el mecanicismo de Newton desembocó en numerosos avances tecnológicos —primeramente en las factorías— que dieron origen a la revolución industrial. Ésta trajo consigo un gran cambio social: la gente emigraba de los campos a las ciudades.

¿Cómo veían los esforzados habitantes de esa primera modernidad el universo?

La física clásica nos lo describe como si de un gigantesco mecanismo de relojería se tratase. Los movimientos de sus engranajes dan como resultado todo aquello que vemos en los cielos, en nuestro planeta y en nuestra vida cotidiana. Una máquina compuesta de múltiples piezas separadas donde causa y efecto determinan todo lo que sucede.

Nuestra participación en este mecanismo es minúscula, si no inexistente.

Con los avances científicos del siglo XX, el conocimiento humano se ha ido especializando cada vez más hasta confinarse, dentro de la universidad, en departamentos que al resto de los mortales les parecen tan opacos como el oráculo de Delfos. En áreas como la de «materia condensada», «óptica cuántica» o «física de partículas», los investigadores se devanan los sesos para seguir avanzando en nuestro conocimiento de la realidad, y ejecutan complejos cálculos que escapan a la comprensión del 99,99% de los mortales. Sobre esto, un filósofo humanista decía que

«el peligro de una especialización cada vez mayor en el conocimiento es que sabremos cada vez más de menos hasta llegar a saberlo todo de nada».

Sin restar mérito alguno a nuestros heroicos investigadores —al contrario, debemos estarles profundamente agradecidos—, el objeto de este libro ha sido diametralmente opuesto: procurar al lector una introducción general —y esperamos que amena— a la evolución de la física desde sus inicios hasta lo que ha devenido en la actualidad.

Si en la Edad Media Dios estaba en el centro de todas las cosas, y a partir del XVII la población empezó a entender el universo como un gran mecanismo de relojería, la generación Q —los que hemos nacido bajo el inquietante paraguas de la *Quantum Physics*, como se denomina en inglés— nos tenemos que acostumbrar a fenómenos cada vez más misteriosos e impredecibles.

Hace ya más de cien años desde el inicio de la revolución cuántica. Sin embargo, esta extraordinaria teoría sigue siendo una gran desconocida. Quizá porque los fenómenos que nos describe están tan alejados de nuestra experiencia ordinaria, o tal vez porque la comunidad científica todavía no hemos sabido cumplir nuestro cometido de divulgarla y hacerla atractiva para la población general.

Si el mecanicismo generó un tsunami que arrasó la Edad Media, no hay duda de que la cuántica logrará otro tanto. ¿Llegarán estos conceptos tan extraños a parecernos normales?

Recogiendo una reflexión de *La puerta de los tres cerrojos*, si preguntamos a cualquier niño qué forma tiene la Tierra, nos contestará sin dudar que es redonda. Hemos oído tantas veces, desde que somos pequeños, que la Tierra es un globo que ya lo aceptamos como verdad.

Pero ¿qué pensaría un caballero medieval sobre eso? Alguien que en una jornada sólo podía avanzar unos pocos kilómetros, que no tenía teléfono ni manera de comunicarse con personas lejanas… ¿Cómo podía tan siquiera imaginar que había puntos de la Tierra donde la Luna brillaba de noche, mientras donde él estaba lucía el Sol? Para ese caballero, la Tierra era obviamente plana. Su realidad era muy diferente de la nuestra.

Y, así como ahora no dudamos de que la Tierra es redonda, llegará un día en que el mundo cuántico nos parecerá algo normal. Y cuando eso suceda, probablemente asistamos a otra revolución científica que ni siquiera hoy podemos imaginar.

Hemos visto numerosos ejemplos en este viaje a los confines de la ciencia, que esperamos que haya sido tan excitante como provechoso. Los que hemos trabajado en este libro nos hemos sentido muy cerca de los lectores, con los que ha sido un privilegio compartir mesa y conversaciones sobre lo que constituye todo eso que llamamos realidad.

Muchas gracias por acompañarnos.

¡Feliz desayuno con partículas!

epublibre

Apéndices

Apéndice capítulo 1

Big Bang: También llamada teoría de la gran explosión, es uno de los modelos científicos que describe el inicio del universo. En el momento del Big Bang se creó la materia, el tiempo y el espacio. El universo se ha ido expandiendo desde entonces. Como ejemplo visual podemos imaginar un globo al que pintamos con un rotulador unos puntos y que luego inflamos. Al hacerlo, los puntos se van alejando entre sí. De una manera parecida, el universo se está expandiendo y las galaxias se alejan las unas de las otras.

Elipse: Es una curva cerrada y plana. Podemos visualizarla como una circunferencia aplastada. A diferencia de la circunferencia, que tiene un centro, la elipse tiene dos focos. No importa el punto de la elipse en el que te encuentres, pues la suma de la distancia respecto a los dos focos siempre dará el mismo resultado. Estas curvas fueron estudiadas y bautizadas por Apolonio de Pérgamo, uno de los sabios de la antigua Alejandría.

Geocentrismo: Esta teoría coloca a la Tierra en el centro del universo. Según el geocentrismo, las estrellas —incluido el Sol— giran alrededor de nuestro planeta. Esta visión cosmológica, que en un principio no todos los griegos aceptaban, fue ganando adeptos hasta convertirse en un dogma católico. Galileo sería acusado de hereje en junio de 1633 por proponer que era la Tierra la que se movía, y fue obligado a retractarse. Condenado a vivir encerrado en su casa y bajo vigilancia, Galileo pronunció aquella frase que ha quedado en nuestra memoria: «Y, sin embargo, se mueve…».

Gravitación universal: Es la ley de la física clásica que describe la interacción gravitatoria entre cuerpos. Esta ley fue publicada por Isaac Newton en su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de 1687. En ella, Newton nos describe que la fuerza con la que se atraen dos cuerpos es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Con su teoría de la gravitación, Newton demostraría que la misma fuerza que hace que una manzana caiga al suelo es responsable de que los planetas giren alrededor del Sol. Es por eso que se la llama una teoría universal.

Heliocentrismo: Esta teoría coloca al Sol en el centro del universo, mientras la Tierra y los planetas del Sistema Solar dan vueltas a su alrededor. Esta teoría fue planteada en el siglo III a. C. por Aristarco de Samos, pero no captó la atención de los astrónomos de su tiempo. Fue en el Renacimiento cuando Nicolás Copérnico estableció un modelo matemático heliocentrista. En el manuscrito en el que publicó su resultado, *Sobre las revoluciones de las orbes celestes*, Copérnico introdujo un prefacio-dedicatoria al Papa, esperando ganarse el apoyo de la Iglesia. Un siglo más tarde, Kepler abrazó el sistema copernicano heliocéntrico y lo completó con su modelo matemático de órbitas elípticas.

Mysterium Cosmographicum

En 1589 Kepler empezaba sus estudios en la Universidad de Tübingen, donde uno de sus profesores le iniciaría en el modelo cosmológico de Copérnico: el heliocentrismo.

Pese a ser una idea no sólo impopular sino peligrosa (Galileo sería condenado en Italia por ella), Kepler la abrazó enseguida, convencido de que con ésta se reforzaba su fe. Para él, igual que para los antiguos egipcios, el Sol era la perfecta imagen de Dios y debía ocupar en el cosmos un lugar central, mientras el resto de los planetas serían los que daban vueltas, en círculos perfectos, a su alrededor.

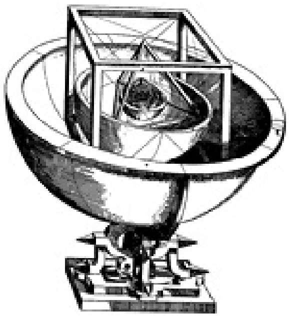
Fascinado con esta nueva visión, Johannes Kepler abandonó su carrera eclesiástica definitivamente —le fascinaba más el misticismo de las matemáticas— para aceptar un puesto como profesor de matemáticas en Graz, Austria. Sin embargo, sus aptitudes como docente estaban lejos de ser brillantes. Se mostraba huraño y falto de paciencia con sus estudiantes y perdía con facilidad el hilo de sus explicaciones, sumergido en sus propias reflexiones.

Sería en una de aquellas clases soporíferas, en las que parecía estar en Babia, cuando tuvo su revelación. Había entonces seis planetas conocidos: Mercurio, Venus, nuestra Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Pero nunca nadie se había preguntado por qué sólo existían seis planetas. ¿Qué tenía de especial ese número? Kepler creyó entender el motivo de que fuesen seis y sólo seis los planetas que orbitaban alrededor del Sol.

Tan sólo existían cinco sólidos regulares y Kepler dedujo que en la relación entre los seis planetas y los cinco sólidos residía la clave a aquel enigma. Postuló que la estructura que subyacía entre los seis planetas del Sistema Solar eran precisamente los cinco poliedros de Pitágoras. Entre Saturno y Júpiter una esfera circunscrita en un cubo, entre Júpiter y Marte, en un tetraedro, entre Marte y la Tierra, en un dodecaedro, entre la Tierra y Venus, en un icosaedro y, finalmente, entre Venus y Mercurio, en un octaedro. Aquella idea le pareció de una belleza geométrica de tal

calibre que debía acariciar, por tanto, la verdad cósmica.

Antes de Kepler, el universo era un cosmos lleno de esferas de cristal. Su nueva teoría, que publicaría en 1596 en su estimada obra *Mysterium Cosmographicum* (*El misterio cósmico*), era provocativa y, aun así, compatible con las creencias de la época.



Sistema Solar de Kepler, reproducido en su obra *Mysterium Cosmographicum* (1596)

Kepler se entregó en cuerpo y alma a los cálculos matemáticos para que su bella hipótesis coincidiera con las órbitas observadas y anotadas por Copérnico. Sin embargo, pese a sus titánicos esfuerzos, las observaciones de las órbitas planetarias no armonizaban con sus sólidos regulares.

La belleza y grandeza de su teoría le inclinó a pensar que el error estaba en las observaciones de Copérnico, que no eran lo suficientemente precisas.

Tan sólo había un hombre cuyas mediciones de las posiciones aparentes de los planetas fueran más precisas que las de sus contemporáneos —nos hallamos en un período anterior a la invención del telescopio— y con los medios económicos para construirse un observatorio astronómico: Tycho Brahe.

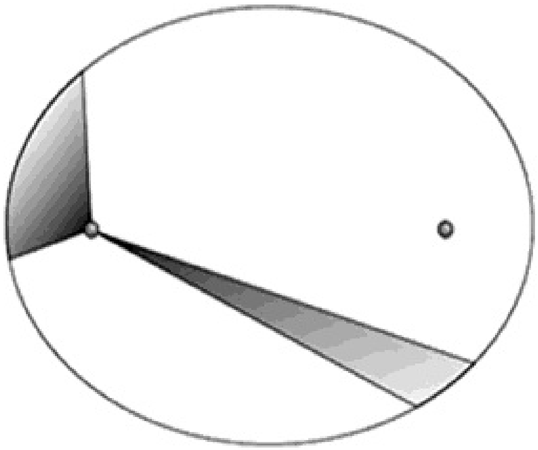
El joven teórico esperaba convertirse en colega del célebre observador de las estrellas. Anhelaba que el trabajo de ambos, siguiendo la nueva ciencia que unía teoría y experimento, reforzase su nueva visión cosmológica descrita en su brillante obra *Misterium Cosmographicum*.

LAS TRES LEYES DE KEPLER:

1. La primera ley del astrónomo alemán dice que los planetas se mueven describiendo órbitas elípticas alrededor del Sol, y que este último está situado en uno de sus focos[27].

2. En tiempos iguales, las áreas barridas por los planetas son iguales.

Cuando un planeta está cercano al Sol, en un intervalo de tiempo determinado recorre una gran parte del arco de la elipse, como puede verse en la figura. Podemos ver que el área que cubre de la elipse es ancha cuando está cerca del Sol.



En la figura, los dos puntos representan los focos de la elipse. A la izquierda vemos el área que recorre un planeta cercano al Sol en un intervalo determinado. A la derecha, vemos el área que recorre el planeta alejado del Sol en el mismo intervalo de tiempo. Kepler descubrió que estas dos áreas, pese a tener formas distintas, son iguales.

Cuando el planeta está alejado del sol, en la otra punta de la elipse, recorrerá una pequeña parte del arco de ésta. Podemos ver, en la misma ilustración, cómo el área es ahora alargada al estar alejada del Sol. Kepler determinó que estas dos áreas, en intervalos iguales de tiempo, son iguales.

3. La tercera ley afirma que el cuadrado de los períodos de la órbita de los planetas es proporcional al cubo de la distancia promedio respecto al Sol.

$T^2 / L^3 = K$, donde T es el período o tiempo que tarda un planeta en dar una vuelta al Sol, L es la distancia del planeta al Sol y K es la constante de proporción.

Kepler escribió esta tercera ley años después de las dos primeras y la plasmó en su libro *Las armonías del mundo*.

En su tercera ley mostraba, con una precisa relación matemática, el motivo por el que Mercurio, mensajero de los dioses, se mueve veloz alrededor del Sol mientras Júpiter y Saturno lo hacen con la lentitud y majestuosidad de los dioses. Kepler encontró la relación matemática que indica por qué los planetas que están más distantes del Sol recorren su trayectoria alrededor del astro rey (llamado período) más lentamente que aquellos cuya distancia respecto al Sol es menor.

LAS TRES LEYES DE NEWTON

1. Ley de la inercia

Todo cuerpo quedará en reposo o movimiento rectilíneo uniforme si no actúa

ninguna fuerza neta externa sobre él.

Con esta primera ley, Isaac Newton rebatía la idea aristotélica de que un cuerpo sólo puede mantenerse en movimiento si se le aplica alguna fuerza externa, pues de otro modo acabaría deteniéndose.

Newton, con su ley de la inercia, afirma que un cuerpo no puede cambiar por sí mismo su estado inicial, ya sea el de estar parado o el de moverse en línea recta sin acelerar ni frenar. Que un objeto se detenga lo explica gracias a las fuerzas de rozamiento o fricción, que son las que detienen progresivamente el movimiento de los cuerpos.

2. Ley de la fuerza

La fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración.

Esta segunda ley nos dice que al aplicar una fuerza a un cuerpo, éste será acelerado. Con ella nos da la conocida relación matemática:

$$F = m \cdot a,$$

donde *F* es la fuerza, *m* es la masa y *a* la aceleración.

3. Ley de acción y reacción

Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto.

Una de las notas importantes en esta tercera ley es que en todo momento se presuponía que la interacción entre dos cuerpos es instantánea, sin importar el espacio que las separe. Eso implicaría que la velocidad de esta interacción es infinita, una de las cuestiones a las que Einstein dio vueltas.

BIBLIOGRAFÍA

Aristóteles, *Libro II, capítulo 4. La esfericidad del universo*.

—, *Libro Duodécimo, Metafísica*.

McEvoy, J. P., Zárate, O., *Introducing Quantum Theory*, Icon Books.

Platón, *Libro VII, La República*.

Rosenblum, B., Kuttner, F., *El enigma cuántico: encuentros entre la física y la conciencia*, Tusquets.

Sagan, Carl, *Cosmos*, Planeta.

Apéndice capítulo 2

BIBLIOGRAFÍA

Bucay, Jorge, *Recuentos para Demián*, RBA.

Kuhn, Thomas, *La estructura de las revoluciones científicas*, International Encyclopedia of Unified Science.

Stephenson, G. R., «Cultural acquisition of a specific learned response among rhesus monkeys», en D. Starek, R. Schneider, R. y H. J. Kuhn, eds., *Progress in Primatology*, Fischer.

Apéndice capítulo 3

Constante de Planck: Esta constante física se simboliza con la letra «*h*» y fue postulada por Planck en 1900 al intentar explicar teóricamente la radiación del cuerpo negro. Esta constante ponía de manifiesto la cuantización del universo cuántico frente a la creencia clásica de que nuestro mundo es continuo. La constante de Planck es tan diminuta ($h = 6{,}626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$), que en nuestra realidad macroscópica es imperceptible y no podemos apreciar esos pequeños «paquetes indivisibles de energía».

Cuerpo negro: Un objeto teórico que absorbe toda la radiación que incide sobre él. Fue introducido por Kirchhoff en 1862.

Fuerza electromagnética: Esta fuerza fundamental es el resultado de la unificación de la fuerza eléctrica y la magnética. Es la encargada de mantener unidos átomos y moléculas. Es, además, la responsable de la electricidad y el magnetismo, la base de la luz, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. Los fotones son los bosones medidores de esta fuerza.

Fuerza gravitatoria: Fuerza fundamental que describe cómo las masas se atraen entre sí. Gracias a la fuerza de la gravedad tenemos la sensación de peso cuando estamos en un planeta. También es gracias a ella que nos mantenemos «atrapados» en la Tierra, y también explica por qué los planetas giran alrededor del Sol. Isaac Newton fue el primero en formular la teoría general de la gravitación y la expuso en su obra: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Fuerza nuclear fuerte: Es la responsable de que los quarks estén unidos dentro de protones y neutrones e, indirectamente, la responsable de que los núcleos atómicos se mantengan unidos. Los bosones mediadores de esta fuerza son los gluones.

Fuerza nuclear débil: Es la que permite la transmutación de unas partículas a otras. Gracias a esta interacción, por ejemplo, un neutrón puede decaer en un protón y emitir radiación. Los bosones mediadores de esta fuerza son los W y Z.

Quark: Los quarks son, junto con los leptones, las partículas que construyen toda la materia. De momento, son las partículas más pequeñas que el ser humano ha descubierto. Hay seis tipos de quarks que corresponden a tres generaciones o familias. La primera familia son los quarks Up y Down. La segunda familia, Charm y Strange. Y la tercera familia, Top y Bottom. Cada quark tiene su correspondiente antiquark. Los neutrones están compuestos por un quark Up y dos quarks Down, mientras que los protones los forman dos quarks Up y uno Down. Los quarks fueron predichos por Murray Gell-Mann en 1964, que ganaría en 1969 el Premio Nobel de Física por sus descubrimientos sobre partículas elementales. Los quarks fueron detectados en los experimentos del acelerador de partículas lineal SLAC entre 1967 y 1973.

Vacío cuántico: En el mundo cuántico, el vacío no es como lo imaginaríamos cuando decimos que un bote de galletas está vacío (pues aunque tengamos mucha hambre, no salen galletas de la nada). En el mundo cuántico, el vacío contiene partículas que aparecen y desaparecen muy rápido (tan rápido que, a pesar de que vieses aparecer galletas en tu bote, desafortunadamente no te daría tiempo a comértelas).

Radiación del cuerpo negro y catástrofe ultravioleta

La luz visible es sólo un caso particular de las ondas electromagnéticas. Nuestros ojos disponen de unos pigmentos fotosensibles que captan un abanico de la radiación electromagnética que se extiende desde el color violeta al rojo.

Los distintos colores se corresponden a distintas longitudes de onda. La radiación de 450 nanómetros —una millonésima parte de metro— corresponde al color violeta, mientras que la de 700 nanómetros corresponde al rojo.

El resto de las ondas electromagnéticas, tanto las que tienen longitudes de onda mayor al rojo (las ondas de radio, microondas e infrarrojas) como las de menor longitud de onda al violeta (como son las ultravioletas, los rayos X y los gamma) nos son invisibles a los ojos.

Cuando levantamos la mirada al cielo nocturno, podemos ver que las estrellas tienen colores ligeramente distintos, unas son más azuladas mientras que otras se acercan más al rojo. Las primeras tienen temperaturas más altas que las segundas. ¿Cómo establecer esta relación entre el color y el calor de las estrellas?

Los cuerpos calientes emiten radiación electromagnética. Existe, por lo tanto, una relación entre la temperatura y la longitud de onda de la radiación que emitirán. Cuanto menor es su longitud de onda de radiación, mayor es su temperatura. Las estrellas más azuladas emiten radiación de longitud de onda más pequeña que las rojizas, por eso tendrán una temperatura mayor.

Nuestro Sol tiene una temperatura superficial de unos 6.000 grados centígrados, y emite radiación mayoritariamente a unos 500 nanómetros. No es casualidad que nuestros ojos tengan el rango de luz visible precisamente alrededor de estas longitudes de onda. También los pigmentos de los vegetales y los demás seres vivos de nuestro planeta guardan relación con la radiación que proviene de nuestra estrella. Si las leyes de la física cambiasen de sopetón y el Sol se enfriase hasta la mitad, empezaría a radiar al doble de su longitud de onda. No podríamos ver nada, ni las plantas podrían absorber su radiación para mantenerse vivas. Nuestra evolución en la Tierra está íntimamente ligada a las reglas de la física cuántica.

Los físicos del siglo XIX, con las leyes de Maxwell bajo el brazo, decidieron dar una explicación teórica a esta relación al estudiar la radiación del cuerpo negro, que absorbe y emite toda la radiación.

Sin embargo, sus trabajos llevaban a la llamada catástrofe ultravioleta. Según esta teoría, cuanto más pequeñas son las longitudes de onda de emisión, más alta es la energía que irradian los cuerpos. Este resultado chocaba con cualquier experiencia cotidiana. De ser cierta, ni siquiera podríamos ver arder unas brasas sin chamuscarnos al instante por la cantidad de energía que emitiría algo tan inofensivo.

La conocida catástrofe ultravioleta planteaba un grave problema. La física conocida hasta entonces no daba respuesta a una situación aparentemente simple. Tuvimos que esperar a que llegase Max Planck e hiciese su «acto de desesperación» al introducir en la explicación de la radiación electromagnética los paquetes o «cuantos» de energía.

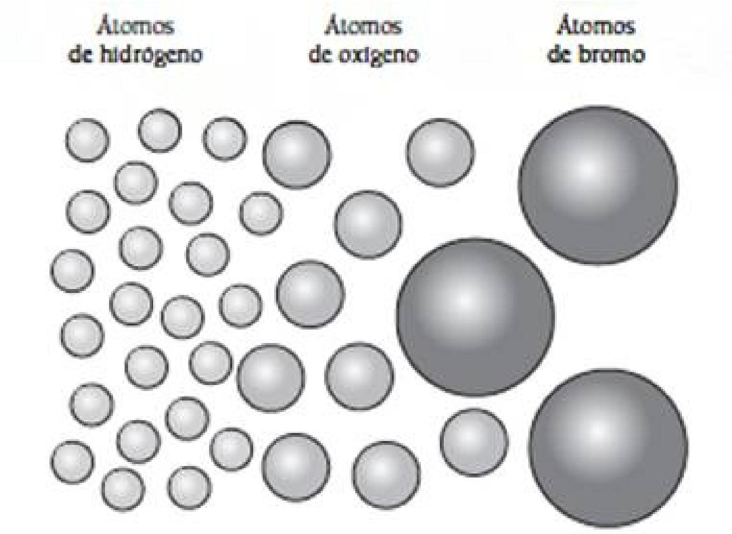
MODELOS ATÓMICOS

Mucho ha llovido desde que Demócrito, Leucipo y Epicuro introdujeron el átomo, entonces como concepto filosófico, en los siglos V y IV a. C.

El término «átomo» significa en griego aquello que no puede ser dividido. Para los pensadores de la antigüedad, el átomo era el elemento último e indivisible que forma todas las cosas.

Veamos cómo ha evolucionado nuestra idea del átomo a lo largo del tiempo:

Modelo atómico de Dalton: la búsqueda de la última partícula

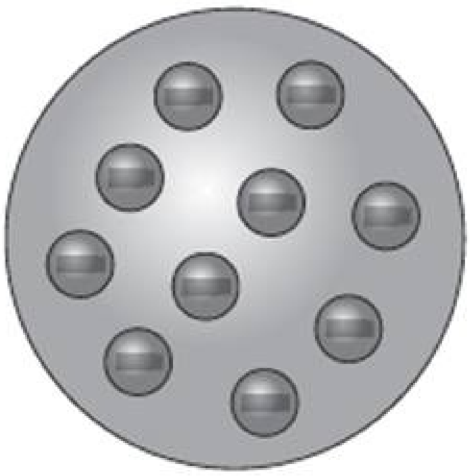


Por primera vez se proponía con base científica la existencia del átomo como partícula última e indivisible.

John Dalton, en 1808, propuso la existencia de unas minúsculas partículas esféricas, indivisibles e indestructibles, que debían ser iguales en cada elemento químico.

Modelo atómico de Thomson: el pudin de pasas

Joseph John Thomson descubrió en 1897 el electrón, una partícula de carga negativa que debía estar en el átomo. Los científicos teorizaron que el átomo, hasta entonces considerado indivisible, estaba compuesto por una parte positiva y otra negativa.

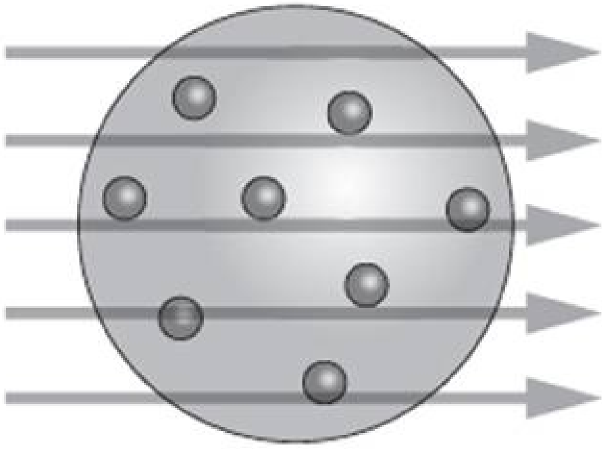


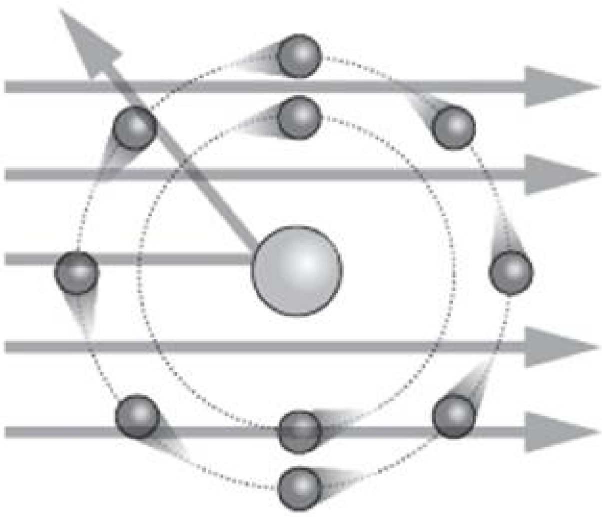
En su nuevo modelo, Thomson propuso que los electrones, de carga negativa, se distribuyen en un átomo positivo como si de un pastel de pasas se tratase.

Modelo atómico de Rutherford: el vacío toma protagonismo

Ernest Rutherford realizó, en 1911, un experimento que demostraría algo que, a día de hoy, sigue pareciéndome fascinante: el átomo está prácticamente vacío.

Después de bombardear una lámina de oro con partículas alfa (núcleos atómicos sin sus electrones, formados por dos protones y dos neutrones), Rutherford comprobó que sólo unas pocas partículas se veían drásticamente desviadas al chocar contra la lámina, mientras que el resto la atravesaban sin verse casi desviadas.





Aquel resultado era, según el modelo del pudin de pasas, sencillamente imposible, con lo que llegó a la conclusión de que los átomos debían de estar prácticamente vacíos.

El modelo atómico de Rutherford estaba formado por dos partes: el núcleo y la corteza.

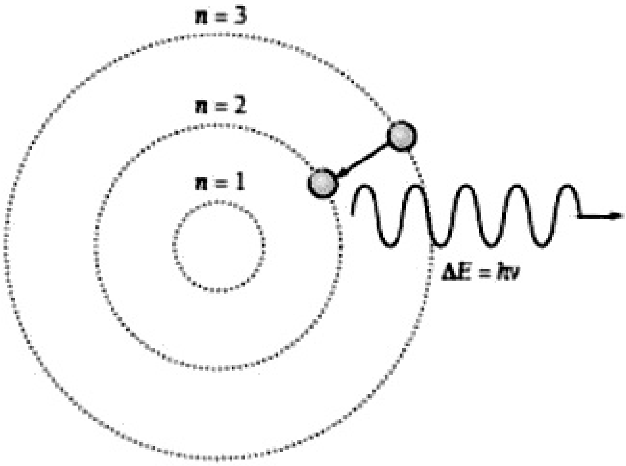
En el núcleo, la parte central y muy pequeña del átomo, se encuentra concentrada casi toda la masa y es de carga positiva. Mientras que la corteza es un espacio inmenso, en comparación con la dimensión del núcleo, donde se encuentran los electrones negativos de masa diminuta.

En el modelo de Rutherford, los electrones orbitan alrededor del núcleo como si fuesen pequeños sistemas solares.

Modelo atómico de Bohr: la cuantización del átomo

Niels Bohr, en 1913, unió el modelo atómico de Rutherford a la rama de la ciencia que acababa de nacer: la física cuántica.

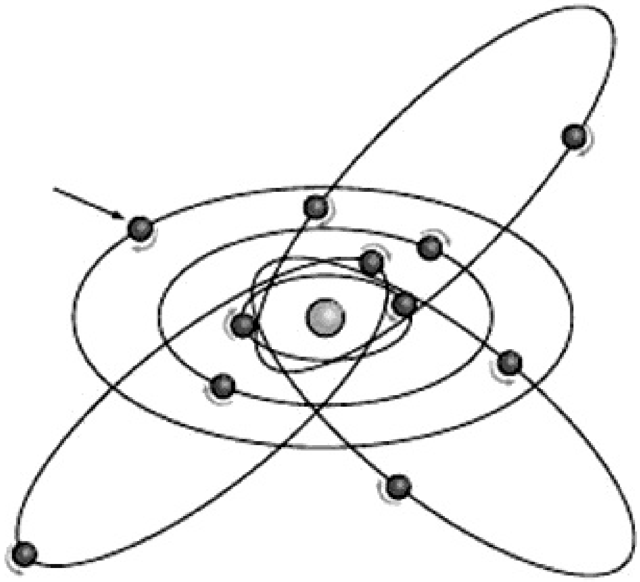
El modelo de Rutherford encerraba un gran enigma. En él, los electrones daban vueltas circulares alrededor del átomo de un modo parecido a como los planetas orbitan alrededor del Sol. Sin embargo, una de las grandes diferencias entre los planetas y los electrones es que estos últimos tienen carga eléctrica. Esta «sutileza» marcaba la gran diferencia: las cargas en movimiento radian y, por lo tanto, pierden energía. Si los electrones perdían energía en sus viajes alrededor del núcleo, debían acabar colapsando, cayendo sin remedio en espiral hasta estrellarse contra el núcleo atómico.



Bohr consiguió explicar la estabilidad de las órbitas electrónicas gracias a la cuantización de la energía que Planck había postulado unos años antes. En su nuevo modelo, supuso que los electrones sólo tenían permitido moverse en unas órbitas específicas y caracterizadas por su nivel energético. A estas órbitas estables se les podía asignar un número entero «n» (del 1, 2, 3, en adelante) que sería bautizado como «número cuántico principal». Los electrones podían «saltar», absorbiendo o emitiendo energía, de una órbita permitida a otra, pero no podían existir fuera de las zonas de estas órbitas. El resto del espacio vacío les estaba prohibido.

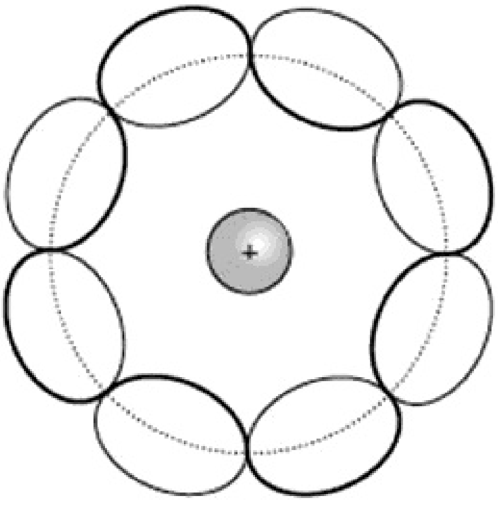
Modelo atómico de Sommerfield: el círculo se vuelve elipse

Así como Kepler introdujo las órbitas elípticas para los planetas, Sommerfield perfeccionó el modelo atómico de Bohr dando a conocer que las órbitas electrónicas podían ser desde circulares hasta elípticas. Su excentricidad, que determinará la forma de los orbitales, dependerá del número cuántico llamado azimutal «l», que tendrá valores desde el 0 (órbita circular), hasta el 1, 2, etcétera.



Sommerfield introdujo también correcciones relativistas en la descripción de su modelo al tener en cuenta las altas velocidades —cercanas a la luz— a las que se movían las partículas subatómicas.

Modelo atómico de Schrödinger: la danza de las ondas



Ervin Schrödinger transformaría el concepto de las órbitas electrónicas. Los electrones dejaron de ser pequeñas partículas para ser entendidos como ondas, identificando los niveles energéticos atómicos con sus modos de vibración. Más tarde, Max Born interpretará las funciones de onda de Schrödinger como la probabilidad de que los electrones existan en determinadas regiones del átomo.

BIBLIOGRAFÍA

Jou, David, *Introducción al mundo cuántico: de la danza de las partículas a las semillas de galaxia*, Pasado y Presente.

Navarro, Luis, *Einstein, profeta y hereje*, Tusquets.

Rovira, Álex, y Miralles, Francesc, *La última respuesta*, Plaza & Janés.

Apéndice capítulo 4

EFECTO FOTOELÉCTRICO

En 1902, el físico Philipp Lenard presentó los resultados de medir con precisión un efecto observado por Heinrich Herz diez años atrás: al iluminar una delgada lámina metálica se conseguía que la luz «arrancase» electrones del metal.

Una explicación que dio la física clásica, considerando que la luz era una onda, fue la siguiente: las ondas de luz chocan contra los electrones del metal, del mismo modo que las olas del mar lo hacen contra los granos de arena. Cuanto más intensas (más grandes y fuertes) sean las olas, más empuje y energía transmitirán a los granos de arena que saldrán despedidos. Del mismo modo debía suceder, por lo tanto, con la luz: a mayor intensidad (luz más brillante), los electrones de la placa metálica serían arrancados con más energía.



© Marisa Martínez

Pero los resultados de Lenard indicaban algo completamente distinto. Al aumentar la intensidad de la luz también se incrementaba el número de electrones arrancados, pero no así la energía con la que salían despedidos. Incluso un haz de luz muy tenue era capaz de arrancar algunos electrones.

Los experimentos que se realizaron más tarde demostraron, además, que existía un caso particular (si la frecuencia de la luz era lo suficientemente pequeña)[28] para el que, por mucho que aumentásemos su intensidad y la hiciésemos más brillante, no conseguiría desprender ni un solo electrón.

Con la hipótesis de Einstein de que la luz está formada por pequeñas partículas —los cuantos de energía llamados fotones— se puede explicar el efecto fotoeléctrico.

Einstein imaginó cómo un único fotón era absorbido por un único electrón de la placa, transfiriéndole la energía suficiente para escapar del metal. Si iluminamos la placa con más intensidad, aumentaremos el número de fotones, con lo que conseguiremos aumentar el número de electrones arrancados.

Según la ley de Planck, a mayor frecuencia del haz de luz, mayor será la energía

de los fotones. Un foco de luz con una frecuencia demasiado baja estaría compuesto por fotones con una energía tan baja que no tendrían fuerza suficiente para arrancar electrones del metal. Sería como si pretendiésemos mover un todoterreno lanzándole una canica por detrás. Aumentando la intensidad sólo conseguiría que tuviésemos más coches y canicas con las que realizar una hazaña imposible[29].

Apéndice capítulo 5

Efecto túnel: Una de las ventajas de que las partículas tengan propiedades de ondas y partículas es el efecto túnel. Nos ofrece la posibilidad de que las partículas atraviesen barreras o muros.

Teleportación cuántica: Gracias a la ciencia ficción, la teleportación es un concepto que a todos nos resulta familiar. Con la teleportación cuántica podemos hacer que un objeto que estaba en el punto A aparezca en un punto B sin pasar por ningún lugar entremedio. Para ello se utiliza el fenómeno del entrelazamiento de las partículas.

Principio de incertidumbre de Heisenberg: Este principio nos dice que no podemos conocer la posición de las partículas (dónde están exactamente) y su velocidad al mismo tiempo. Al menos, no de manera exacta. Esto tiene efectos curiosos: si una partícula estuviese parada (es decir, velocidad cero) debería ocupar un espacio infinito (podría estar en cualquier sitio). Si conocemos una de las dos exactamente, la otra la desconocemos al completo. La misma ley se aplica a la energía y el tiempo. Gracias a eso, se puede crear materia del vacío… pero por muy poco tiempo.

El gato de Schrödinger

> Cuando oigo hablar del gato de Schrödinger, saco la pistola.
>
> STEPHEN HAWKING

La teoría cuántica funciona extraordinariamente bien. La precisión de sus resultados es la más exacta que se conoce hasta la fecha y nos ha permitido el desarrollo tecnológico del que gozamos hoy en día. Sin embargo, la interpretación de esta teoría nos plantea algo muy extraño. Las diminutas partículas no están en ningún sitio hasta que las observamos. Según Heisenberg, estos objetos minúsculos pasan de ser «reales» a meras «potencialidades».

Es inevitable, sin embargo, llegar a la siguiente cuestión: si las cosas que vemos —una mesa, un coche— están formadas por esas partículas, entonces ¿son «reales» o no lo son?

La respuesta de la interpretación de Copenhague es pragmática: puesto que los extraños fenómenos del mundo cuántico no se producen con objetos «grandes», a efectos prácticos no hay por qué preocuparse por la realidad física de una casa.

Pero Schrödinger se sentía incómodo con esta explicación. Para él, negar la realidad de una partícula significaba negar la realidad de un puñado de partículas y, por tanto, de aquello que estaba formado por ellas, ya fuese un sillón o nosotros mismos.

En su intento por negar esta interpretación indeterminista de la naturaleza, Schrödinger ideó la metáfora del gato de Schrödinger. Lo publicó en 1935 para la revista *Naturwissenschaften*.

En su experimento mental, Schrödinger coloca a su gato en una caja opaca. La caja contiene un frasco venenoso conectado a un dispositivo que podría liberar la poción. El dispositivo se activaría con la desintegración de una partícula radioactiva (un núcleo atómico, por ejemplo).

Estos fenómenos, por ser procesos cuánticos, son esencialmente indeterministas. Mientras no sea observada, esa partícula estará desintegrada y no lo estará a la vez, en un estado de superposición. Si seguimos la línea de acontecimientos, el dispositivo estará activado y no a la vez, de modo que el frasco habrá liberado su veneno y no lo habrá hecho simultáneamente. Finalmente, el gato de la caja estará al mismo tiempo vivo y muerto hasta que sea observado.

Con esta metáfora, Schrödinger pretendía poner de manifiesto la extraña y absurda —en su opinión— conclusión a la que se llega con la mecánica cuántica.

El porqué los gatos están vivos o muertos en lugar de vivos y muertos tiene hoy en día una respuesta más o menos estándar, aunque merece destacar que la paradoja de Schrödinger sigue incomodando aparte de la comunidad científica (por ejemplo a Hawking, de quien hemos destacado en la cita su —en broma— amenaza de sacar la pistola al tratar este tema). La decoherencia es la causante de «destruir» el estado de superposición de los objetos macroscópicos. Al no poder estar completamente aislados, los objetos grandes están en contacto con el resto del mundo, entrelazados. Ese entrelazamiento sería el equivalente, para muchos investigadores, a la observación.

BIBLIOGRAFÍA

Fernández-Vidal, Sonia, *La puerta de los tres cerrojos*, La Galera.

Apéndice capítulo 6

Efecto Zenón cuántico

En un grupo de investigación del NIST (National Institute of Standards and Technology, de Colorado) se realizó un experimento donde se puso a prueba este efecto Zenón cuántico.

Seleccionaron unos iones[30] y los pusieron en un estado de energía determinado. Los iones tienen algunos estados de energía permitidos; para hacer un símil, es como un podio de las olimpiadas que constara sólo de dos escalones. La primera posición será la de máxima energía y la segunda, la de mínima energía.

Para que el ion pueda subir o bajar en el podio tiene que absorber o emitir luz (fotones).

Lo que hicieron en este experimento fue exponer a unos miles de iones a una fuente de luz —en este caso particular, eran microondas—. Al cabo de 256 milisegundos realizaron la observación y todos los iones se habían colocado en la primera posición del podio.

Al iniciar el experimento la probabilidad de encontrar los iones en la segunda posición era de un 100% y al finalizar los 256 milisegundos lo que obtenían era una probabilidad del 100% de encontrarlos en la primera posición. Entremedio simplemente podemos imaginar que la probabilidad iba disminuyendo en la segunda posición y aumentando en la primera.

Lo que hizo el grupo de investigación del NIST fue observar la transición a los 128 milisegundos, y de nuevo a los 256 milisegundos (cuando se suponía que ya habían subido todos a la primera posición del podio). Sin embargo, lo que encontraron en esta última medición fue que sólo el 50% de los iones habían conseguido realizar la transición a la primera posición.

¿Qué podía haber frenado al resto de los iones a subir al primer puesto?

El efecto Zenón cuántico lo explicaba: al hacer la medición a la mitad del proceso, muchos de los iones se encontraban camino del primer escalón del podio. Al ser observados se tuvieron que definir (recordad el experimento de la doble ranura: o bien izquierda, o bien derecha) y puesto que estaban más cercanos a la segunda posición, se localizaban en ella. De ese modo, después de esta primera medición, la transición tenía que volver a empezar. Al medir por segunda vez los iones —después de los 258 milisegundos— sólo un 50% habían logrado subir a la primera posición.

Emocionados, los científicos repitieron el experimento con más mediciones entremedio consiguiendo, acorde con las predicciones teóricas del efecto Zenón cuántico, que cada vez menos iones finalizasen la transición a la primera posición del podio.

La conclusión a la que llegaron era prometedora. Se puede «congelar» el cambio de un sistema cuántico —y mantenerlo en el estado deseado— simplemente midiéndolo muchas veces.

BIBLIOGRAFÍA

Capra, F., *El tao de la física*, Sirio.

Krishnamurti, J., y Bohm, D., *Verdad y realidad*, Kairós.

Orzel, Chad, *Conversaciones de física con mi perro*, Planeta.

Wilber, Ken, *Cuestiones cuánticas*, Kairós.

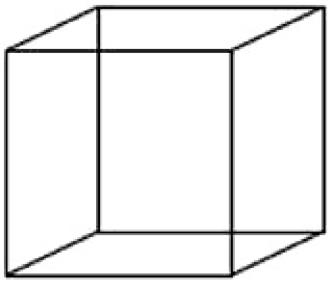
Apéndice capítulo 7

Fluctuaciones cuánticas: En física clásica decimos que en un sistema aislado la energía se conserva y puede transferirse de un átomo a otro, pero la resultante final siempre es la misma. En el mundo cuántico, sin embargo, pequeños valores de la energía pueden fluctuar en intervalos temporales pequeños. Un ejemplo de estas fluctuaciones cuánticas se produce con las partículas virtuales. Éstas pueden existir durante un breve período de tiempo al pedir un préstamo de energía suficiente para tener masa. Esa energía prestada es la fluctuación cuántica.

Entrelazamiento y superposición

Os proponemos un juego que nos ayudará a ilustrar el principio de superposición y el entrelazamiento.

Seguramente todos reconoceréis en este dibujo un cubo representado en dos dimensiones.

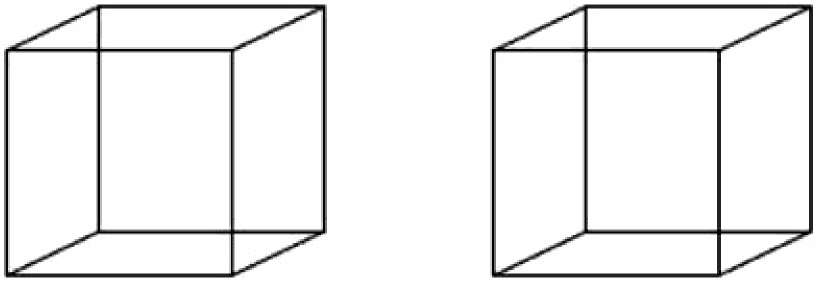


Pero este esbozo tiene una particularidad: si dejáis que vuestro cerebro interprete las tres dimensiones espaciales podéis visualizar cómo la cara frontal del cubo es o bien el cuadrado de la izquierda o bien el de la derecha. Ambas interpretaciones son igual de correctas. Vuestra percepción del cubo puede ir variando, pero nunca podréis ver las dos caras al mismo tiempo.

Si ahora os pedimos que tapéis el dibujo con la mano y os preguntamos: ¿cuál de las dos partes es la frontal?, no podréis darnos una respuesta, pues sin verlo —sin colapsarlo— el cubo se encuentra en una superposición: ambas caras están al frente y al final simultáneamente.

Por supuesto que en este caso no se produce una superposición cuántica, pero es un buen ejemplo sobre la percepción que nos puede ayudar a comprenderla.

Ahora complicaremos el juego para entender el entrelazamiento.



Dibujaremos dos cubos como el anterior. Al observarlos nos sucederá lo mismo, pero en esta ocasión, cuando interpretamos que el cuadrado izquierdo está al frente del primer cubo, automáticamente el segundo cubo se comporta igual, y viceversa. Están entrelazados. Sin embargo, al taparlos con la mano ambos vuelven a estar indefinidos.

Imaginad ahora que rompéis esta página por la mitad. Uno de los cubos os lo quedáis vosotros y el otro lo enviáis a un amigo lejano. Si estas ilustraciones siguiesen las normas cuánticas del entrelazamiento, cada vez que observaseis el cubo que os habéis guardado y determinaseis qué cara es la frontal, vuestro amigo vería exactamente la misma que vosotros. Existiría una correlación perfecta. Así funciona el entrelazamiento cuántico.

Apéndice capítulo 8

BIBLIOGRAFÍA

De Bono, E., *Seis sombreros para pensar*, Paidós.

Apéndice capítulo 9

TELEPORTACIÓN CUÁNTICA

Los pasos de este proceso son los siguientes:

Alicia posee un objeto que desea teleportar (en la práctica debería reducirse a unos pocos átomos, pero para el ejemplo usaremos el término «objeto») desde la Tierra hasta la estación espacial de Alfa Centauri, donde está destinado su amigo Bob.

Bob y Alicia comparten un par de partículas EPR[31], es decir, dos partículas entrelazadas. Cada una tiene igual masa que la partícula que se quiere teleportar. Alicia posee una de ellas y Bob la otra.

Alicia pondrá la partícula que quiere teleportar en un aparato de medición junto con su EPR. Este aparato realiza lo que llamamos una *medición conjunta*. Las leyes de la física cuántica efectuarán aquí su «magia»: al medir conjuntamente estas dos partículas, las modificamos. Por otro lado, al estar el par EPR entrelazados, cuando la partícula EPR de Alicia se modifica también lo hace la de Bob mediante esta «fantasmagórica acción a distancia».

Alicia enviará a Bob los resultados de su medición conjunta por un canal clásico: ya sea por internet, por teléfono, etcétera (este paso es importante, pues en él se respeta la ley de Einstein de que nada que transporte información puede viajar más rápido que la velocidad de la luz).

Una vez Bob recibe los resultados de la medición de Alicia, puede modificar su par EPR convirtiéndolo en el objeto inicial a teleportar.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, Douglas, *Guía del autoestopista galáctico*, Anagrama.

Asimov, Isaac, *Viaje alucinante*, Parramón.

Clarke, A. C., *2001: una odisea del espacio*, DeBolsillo.

Kaku, Michio, *La física del futuro*, Debate.

Rowling, J. K., *Harry Potter*, Salamandra.

Saint-Exupéry, Antoine de, *El Principito*, Emecé.

Verne, Julio, *De la Tierra a la Luna*, Alianza.

Apéndice capítulo 10

LAS TRES GENERACIONES DEL MODELO ESTÁNDAR

Del Modelo Estándar conocemos, de momento, tres generaciones. La primera es la que constituye todo lo que nos rodea: los quarks llamados «up» y «down», que son los que forman los protones y neutrones de los átomos, y los leptones bautizados como «electrón» y el «neutrino electrónico». La segunda generación la forman los quarks «charm» y «strange» y los leptones «muon» y «neutrino muónico». Mientras que la tercera generación es de los quarks *top* y *beauty* y los leptones son el *tau* y el *neutrino tau*.

Cada partícula de una generación tiene menor masa que la siguiente; el resto de las propiedades que se conocen son iguales. Las partículas de generaciones más masivas decaen en los miembros de la de masa inferior. Es por eso que la mayoría de la materia que nos rodea está compuesta por las partículas de la primera generación. Se desconoce por qué la naturaleza ha escogido precisamente tres generaciones de partículas fundamentales.

BIBLIOGRAFÍA

Bryson, Bill, *Una breve historia de casi todo*, RBA.

Fernández-Vidal, Sonia, *Quantic Love*, Luna Roja.

Gell-Mann, Murray, *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*, Tusquets.

Joyce, James, *Finnegans Wake*, Lumen.

Weinberg, Steven, *Los tres primeros minutos del universo*, Alianza Universidad.

Apéndice capítulo 11

MASA Y PESO

La masa y el peso son propiedades físicas distintas.

La masa es la cantidad de materia que forma los cuerpos. Todos los objetos están formados por materia. Tomemos como ejemplo una pelota de ping-pong y una de golf, que tienen aproximadamente el mismo volumen. La primera tiene menos materia (densidad) que la segunda, por lo que decimos entonces que tiene menos masa. También un luchador de sumo tiene más masa que un bebé de tres meses, pues ocupa mucho más volumen.

Con esta relación podemos ya relacionar matemáticamente la masa, el volumen y la densidad:

$$M = v \cdot \rho,$$

donde M es la masa, v es el volumen y ρ es la densidad.

El peso es la fuerza que la gravedad hace sobre un cuerpo. Puesto que el campo gravitatorio de la Tierra es mayor que el de la Luna, pesaremos menos al medirnos en una balanza en nuestro satélite que en el baño de casa, sin haber perdido nada de masa.

La masa se mide en kilogramos, mientras que el peso, por ser una fuerza, se mide en newtons. Sin embargo, en nuestro día a día acostumbramos a expresarnos con poca rigurosidad y decimos, erróneamente, que pesamos cincuenta kilogramos en vez de que tenemos una masa de cincuenta kilogramos.

BIBLIOGRAFÍA

Lederman, Leon, y Teresi, Dick, *La partícula divina: Si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta?*, Crítica.

Apéndice capítulo 12

BIBLIOGRAFÍA

Abbott, Edwin A., *Planilandia. Una novela de muchas dimensiones*, Olañeta.

Greene, Brian, *El universo elegante*, Planeta.

Agradecimientos

A David Trias, Alberto Marcos y Laura Álvarez, editores atómicos de este libro; a todo el equipo de Random House Mondadori y a los brillantes correctores.

A Sandra Bruna y su equipo, por acelerar nuestros sueños.

A Marisa Martínez, ilustradora de universos propios y paralelos.

A Chituca, superconductora de medios para dar voz a este proyecto.

A toda la profesión periodística, héroes cotidianos que difunden la belleza de la ciencia.

A Ignasi Lausín por proponer este título y por sus valiosas aportaciones.

A Iolanda Batallé, Big Bang de todo lo que nos está sucediendo.

A David Bueno, David Jou y Lluís Torner, generadores de conversaciones siempre estimulantes.

A la familia Nogales, por envolver de calidez nuestro universo.

A Alberto, Katinka, Niko, Jose, Irene y Núria, nuestra familia particular y fundamental.

A los amables lectores, por aceptar el desafío de un desayuno con partículas.



SONIA FERNÁNDEZ-VIDAL nació en 1978 en Barcelona. Es doctora en Física Cuántica por la Universitat Autònoma de Barcelona. Se doctoró con una tesis en el campo de la Información y de la Óptica Cuántica. En el 2003 trabajó en el Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), en el proyecto del nuevo acelerador de partículas Large Hadron Collider (LHC). Allí empezó a degustar la divulgación científica participando como guía oficial y conferenciante del CERN. En el 2005 viajó a Los Álamos (EE.UU.) para colaborar con la división teórica del Laboratorio Nacional de Los Álamos (LANL) en un proyecto sobre Decoherencia e Información Cuántica. En el 2006 trabajó en el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) en un proyecto europeo sobre «Computación Cuántica Escalable con Luz y Átomos» (SCALA). Hasta el pasado 2009, trabajó como investigadora en la Universitat Autònoma de Barcelona en el proyecto español de Óptica e Información Cuántica. Ha combinado la investigación con otra de sus pasiones, la docencia, tanto en la universidad como en centros para adultos. Durante los últimos dos años ha dado múltiples charlas de introducción a la física cuántica a públicos no científicos con el objetivo de abrir las consciencias de la gente a distintas realidades. También ha publicado dos novelas juveniles, *La puerta de los tres cerrojos* (La Galera, 2011) y *Quantic Love* (La Galera, 2012).

FRANCESC MIRALLES es novelista, compositor y periodista especializado en espiritualidad. Escribe en *El País Semanal* y en la revista *Integral*, además de ser

guionista de radio y televisión. Ha publicado los thrillers de éxito *El Cuarto Reino* y *La Profecía 2013*.

Notas

[1] El resto de los planetas dibuja una forma mucho menos elíptica que Marte, de modo que Tycho dirigió correctamente a su discípulo al recomendarle el estudio de su órbita. Sin esa observación, quizá Kepler jamás habría formulado sus tres leyes. <<

[2] Desarrolladas en el apéndice que corresponde a este capítulo. <<

[3] Pese a que el color azul no lo conseguimos en la Tierra, pues los materiales se vaporizarían a esas temperaturas, sí podemos ver calientes estrellas azules en el cielo. <<

[4] Consultar el apéndice correspondiente a este capítulo para profundizar en las distintas teorías atómicas y la visión mecánico-cuántica. <<

[5] Fuente: Gaetano Kanizsa, *Scientific American Mind*. <<

[6] Las estudiaremos con más detalle en el capítulo 10. <<

[7] Equivale a una cienmillonésima de centímetro. <<

[8] Hacemos aquí un guiño a la obra de Luis Navarro Veguillas: *Einstein, profeta y hereje*. <<

[9] Otro guiño a la obra de Álex Rovira y Francesc Miralles sobre la vida de Einstein: *La última respuesta*. <<

[10] No fue hasta los trabajos de Maxwell, a finales del siglo XIX, cuando se comprobó que la luz es un tipo de onda electromagnética, como los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, el infrarrojo, las microondas y las ondas de radio. <<

[11] Véase el apéndice correspondiente al capítulo 3 para saber sobre Planck y la radiación del cuerpo negro. <<

[12] En el apéndice de este capítulo se encuentra una explicación básica sobre el efecto fotoeléctrico. <<

[13] Planck había demostrado teóricamente que un electrón sólo puede radiar pequeñísimos paquetes de energía: los *cuantos*. <<

[14] Einstein ganó el Premio Nobel precisamente por su contribución al estudio de la naturaleza de la luz, y no por la teoría de la relatividad, como muchos piensan. <<

[15] Debido al principio de incertidumbre de Heisenberg, no podemos determinar con precisión la posición y la velocidad del electrón simultáneamente, por eso Francesc lo ve como una mancha borrosa. <<

[16] En el capítulo anterior. <<

[17] Esta segunda parte del experimento es lo que se conoce como un *Gedankenexperiment* o «experimento mental». En vez de realizarlo en el laboratorio, se crea un escenario hipotético que nos ayuda a comprender ciertas teorías científicas.
<<

[18] Para aquel a quien no le duela la cabeza con tanta superposición y colapso de funciones de onda, puede ver otro ejemplo en el anexo del capítulo 7. <<

[19] Que veremos en el apéndice del capítulo 7. <<

[20] Insistimos que aquí tan sólo hacemos un juego de palabras, no pretendemos decir que la ley del esfuerzo está demostrada por la física cuántica. <<

[21] En el capítulo 6. <<

[22] Para ver con más detalle el protocolo, consúltese el apéndice correspondiente a este capítulo. <<

[23] Las partículas alfa son un núcleo del átomo de helio. <<

[24] «¡Tres quarks por Muster Mark! ¡No tiene mucho carácter, y el poco que tiene no lo usa!» (Nota: Finnegans Wake está considerada una de las novelas más crípticas e incomprensibles de la historia de la literatura.) <<

[25] Todavía no se ha encontrado una teoría unificada de las fuerzas que operan en el universo, trabajo al que Einstein dedicó, sin éxito, los últimos años de su vida. <<

[26] Siglas de Large Hadron Collider, o «gran colisionador de hadrones». <<

[27] En geometría se entiende por «foco» el punto de una curva respecto al que se mantienen constantes distancias de la curva. Por ejemplo, en una circunferencia, el foco es el centro, pues la distancia del centro a cada punto del círculo es constante (el radio). Una elipse tiene dos focos y la suma de la distancia entre ellos y cualquier punto de la elipse es constante. <<

[28] Distintas frecuencias de luz visible las percibimos nosotros como distintos colores. La luz visible de mayor frecuencia corresponde al color rojo; más allá nos encontramos con frecuencias que nos son invisibles a los ojos, como los infrarrojos o microondas. Mientras que las de menor frecuencia corresponden al violeta, y más allá, no perceptible a nuestros ojos, nos encontramos en el régimen de los ultravioletas y los rayos X. <<

[29] Hoy en día se sabe que existen unos procesos en los que una intensidad de luz muy elevada (más de lo que Einstein podía imaginar en aquella época) consigue que un solo electrón pueda absorber dos fotones que, pese a tener por separado una energía insuficiente para hacerles escapar de la placa metálica, de dos en dos sí que lo consiguen. <<

[30] Los iones son átomos a los que se les ha arrancado un electrón. <<

[31] Revisar la pesadilla de Francesc para más detalle. <<